

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Automatizace skleníku

Automatization of Greenhouse

Zadání bakalářské práce

Student:

Petr Ondřej

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612R041 Řídicí a informační systémy

Téma:

System automatizace skleníku
Automatization of Greenhouse

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Tato práce se zabývá návrhem regulace vnitřních veličin reálného skleníku, jejich vizualizací a vzdáleného nastavování.

V souhrnu je práce charakterizována následujícími body:

1. Rešerše stávajících řešení regulace veličin ve sklenících.
2. Návrh a implementace řídicího systému.
3. Realizace HMI.
4. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry ATMELE AVR*. 3. díl. Praha: Ben - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-209-4.
- [2] VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Praha: Ben - technická literatura, 2017. ISBN 978-80-87106-90-7.
- [3] VÍTEČKOVÁ, Miluše a Antonín VÍTEČEK. *Vybrané metody seřizování regulátorů*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2503-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Dedek**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



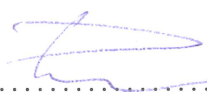
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 30. dubna 2018


.....

Rád bych na tomto místě poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Dedkovi za trpělivost a čas, který věnoval čtení mých mnohdy dosti odvážných výplodů. Dále bych rád poděkoval všem pedagogům, kteří mě provázeli studiem a zejména těm, kteří přispěli svými radami do následujících řádků. Velký dík patří také firmě Funghi, která mi umožnila nahlédnout do svých prostor a díky které jsem získal přehled o technologiích používaných v reálném prostředí. Největší dík však patří celé mé rodině, která mě podporovala a poskytla mi prostor i pomocnou ruku pro realizaci této práce.

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a následnou implementací nástrojů sloužících k automatizaci neprůmyslového skleníku s požadavkem na zefektivnění pěstování rostlin v něm a co možná nejmenší energetickou náročnost celého systému. Návrh se zabývá průzkumem trhu zejména pro senzorickou a výkonovou část systému, následnou úpravou vybraných prvků pro podmínky, které přísluší klimatu skleníku a jejich implementací. Následně je navržen SW pro měření a uložení dat, regulaci teploty ovzduší či vlhkosti půdy a konečným zobrazením hodnot na displej uživateli spolu s možností nastavení základních parametrů regulace. Požadavky na zpracování HMI jsou jeho jednoduchost a přehlednost pro uživatele, tak aby byla skleník schopna obsluhovat i osoba bez předchozího školení. Na závěr práce jsou graficky vyobrazena měřená data, od začátku pěstebního období, kdy následně probíhalo ladění SW a kalibrace senzorické a výkonové části.

Klíčová slova: Automatizace, skleník, zavlažování, měření, regulace, HMI, amega2560

Abstract

This thesis deals with the development and implementation of tools used to automate non-industrial greenhouse with a requirement to make cultivation of plants inside more effective with the smallest possible energy consumption. The development deals with a market research of sensors and actuators used in the system, with a modification of selected components which are affecting the climate conditions in the greenhouse and with its implementation. This is followed by the development of SW for measuring and saving data, regulating air temperature and soil moisture and for displaying the data to the user on a screen together with a setup of basic regulation parameters. Requirements for HMI are to be simple and easy to understand for a not qualified user. The measured data from the beginning of the growing season, when the debugging of the sensors and actuators was carried out, are graphically presented at the end of the thesis.

Key Words: Automation, greenhouse, watering, measurement, regulaion, HMI, ATMEGA2560

Obsah

Seznam použitých zkratek a symbolů	7
Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	9
1 Úvod	10
2 Automatizace	11
2.1 Součásti automatizovaného systému	11
2.2 Typy automatizovaných systémů	12
2.3 Automatizace skleníku	13
3 Senzorické vybavení	17
3.1 Senzory teploty	17
3.2 Senzory vlhkosti	21
3.3 Senzory deště	22
3.4 Senzory hladiny	24
4 Řídicí systém	27
4.1 Návrh řídicího systému	27
4.2 Návrh HW části	29
4.3 Návrh SW části	37
5 Experimentální měření	42
6 Závěr	50
Literatura	52
Přílohy	52
A Seznam příloh na přiloženém CD	53

Seznam použitých zkratk a symbolů

ABS	– Acrylonitrile Butadiene Styrene (Akrylonitrilbutadienstyren- Průmyslový termoplast)
ADC	– Analog to Digital Converter (Převodník analogové veličiny na digitální)
ATX	– Advanced Technology Extended (Zlepšená rozšířená technologie)
CO ₂	– Carbon Dioxide (Oxid uhličitý)
DAC	– Digital to Analog Converter (Převodník digitální veličiny na analogovou)
DPS	– Deska plošných spojů
HMI	– Human Machine Interface (Rozhraní člověk - stroj)
HW	– Hardware
I ² C	– Inter-Integrated Circuit (multi-masterová počítačová sériová sběrnice)
I/O	– Input / Output (Vstupně výstupní)
LCD	– Liquid Crystal Display (Displej s tekutými krystaly)
LED	– Light Emitting Diode (Světlo emitující dioda)
MCU	– Micro Processor Unit (Mikroprocesorová jednotka)
MOSFET	– Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (Metal - oxidový polovodičový tranzistor)
NTC	– Negative Temperature Coefficient (Negativní teplotní koeficient)
PETG	– Polyethylene Terephthalate Glycol (Polyethylentereftalát s modifikovaným glykolem- Odolný plast)
PLC	– Programmable Logical Controller (Programovatelný logický automat)
PTC	– Positive Temperature Coefficient (Pozitivní teplotní koeficient)
PWM	– Pulse Width Modulation (Pulsně šířková modulace, též PŠM)
RTC	– Real Time Clock (Hodiny reálného času)
SD	– Secure Digital (paměťová karta)
SW	– Software
UTP	– Unshielded Twisted Pair (Nestíněná dvojlinka)

Seznam obrázků

1	Jednotlivé průmyslové revoluce a jejich hlavní účel	11
2	Teplotní charakteristika závislosti na odporu senzoru NTC12k	20
3	Teplotní charakteristika závislosti na odporu senzoru PTC	20
4	Mechanické uspořádání odporového vlhkoměru	22
5	Mechanické uspořádání infračerveného vlhkoměru	23
6	Mechanické uspořádání kolébkového vlhkoměru	24
7	Mechanické uspořádání plovákového hladinoměru	25
8	Mechanické uspořádání ultrazvukového hladinoměru	26
9	Blokové schéma řídicího systému	27
10	Regulátor teploty ve skleníku	28
11	Regulátor vlhkosti půdy	29
12	Reálná fotografie konstrukce skleníku	29
13	Rozvržení senzorů ve skleníku	30
14	Detail kombinovaného senzoru DHT22	31
15	Detail měřicího hrotu půdního vlhkoměru a teploměru	32
16	Konstrukce půdního vlhkoměru a teploměru	32
17	Detail umístění dešťového senzoru	33
18	Ultrazvukový senzor vzdálenosti se zvonem	34
19	Vnitřní uspořádání zdroje	34
20	Nádrž na vodu s konstrukcí	35
21	Rozvod vody se selenoidovými ventily	36
22	Pohled na ovládací panel s displejem	37
23	Stavový diagram programu automatizace skleníku	38
24	Diagram uživatelského rozhraní znázorňující možnosti listování stránek	41
25	Teplota ovzduší naměřená 2.4.2018	42
26	Vlhkost ovzduší naměřená 2.4.2018	43
27	Teplota půdy ve skleníku naměřená 2.4.2018	43
28	Vlhkost půdy ve skleníku naměřená 2.4.2018	44
29	Teplota ovzduší naměřená 4.4.2018	44
30	Vlhkost ovzduší naměřená 4.4.2018	45
31	Teplota ovzduší naměřená 23.4.2018	45
32	Vlhkost ovzduší naměřená 23.4.2018	46
33	Teplota půdy ve skleníku naměřená 23.4.2018	47
34	Vlhkost půdy ve skleníku naměřená 23.4.2018	47
35	Výška hladiny v nádrži naměřená 23.4.2018	48
36	Děšť zaznamenan 23.4.2018	48

Seznam tabulek

1	Teploty pro tři základní rostliny v průběhu roku	14
2	Meze teplot pro výměnu vzduchu	15
3	Základní vlastnosti senzorů řady PT100	17
4	Základní vlastnosti senzoru DS18B20 Dallas	18
5	Základní vlastnosti termočlánků	19
6	Vlastnosti senzorů NTC a PTC	19
7	Základní charakteristiky senzorů typu DHT	20

1 Úvod

Úlohou práce je výběr a realizace senzorické části a akčních prvků s následným návrhem a vytvoření SW pro měření, ukládání dat, regulaci a předávání všech získaných informací uživateli pomocí displeje.

V posledních letech, kdy jsou kladeny čím dál vyšší nároky na výrobu týkající se co nejvyšší produkce za co nejnižší cenu, se rozmohl trend automatizovaných systémů, díky kterým jsou tyto nároky splněny alespoň částečně. Zaměstnanci často nahrazují stroje, jelikož mají oproti člověku, který potřebuje přestávky, podléhá únavě, nárokuje si nemocenské dovolené, veliké výhody. Mezi ty hlavní patří fakt, že stroj může být spuštěn bez přestání dvacet čtyři hodin sedm dní v týdnu s minimální poruchovostí a daleko větší efektivitou než člověk.

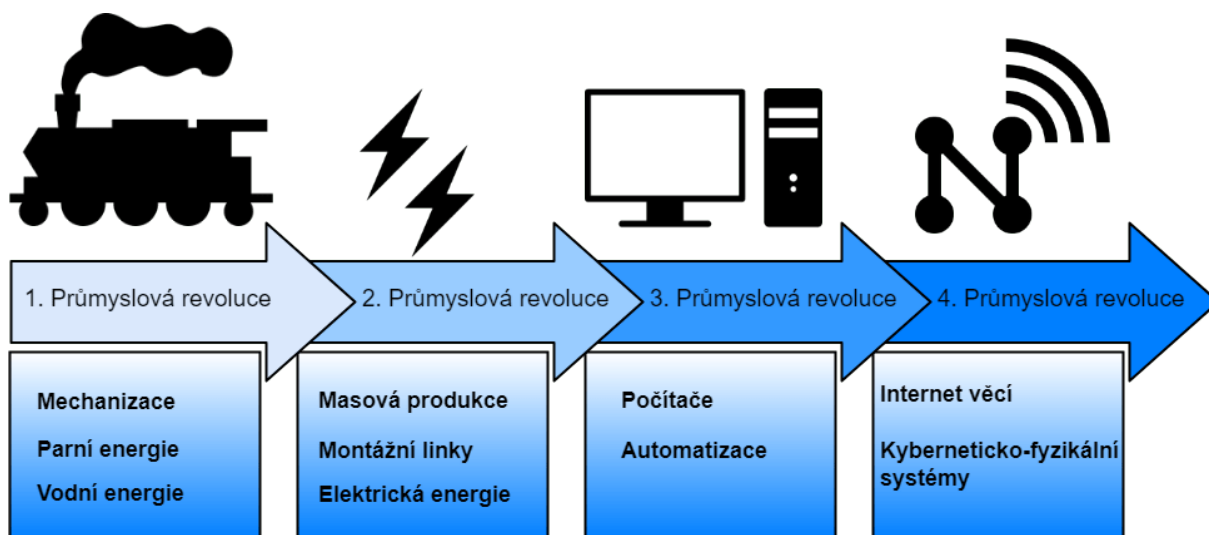
Automatizovaný systém by měl být co možná nejméně ekonomicky nákladný a to jak jeho pořizovací cena, tak cena za údržbu stroje. Dále by pak měl systém co možná nejvíce zvýšit efektivitu výroby ovšem by cenu vyrobeného produktu neměla převyšovat cena za energie spotřebované při výrobě, proto by neměly být v činnosti například zdroje elektrické energie, které aktuálně nemusí být v provozu. Dalším aspektem je jednoduchost jejich ovládání a co možná nemenší náročnost na kvalifikaci uživatelů.

Hlavním cílem práce je vyhovět co možná nejvíce všem výše zmíněným požadavkům tak, aby převyšovaly zejména výhody systému. V případě, kdy nelze zcela vyhovět všem požadavkům, je nalezen kompromis. Důraz je kladen hlavně na uživatelskou přívětivost, protože čas strávený uživatelem ve skleníku by mu systém měl zpříjemňovat. Toho je snaha docílit pomocí co nejlepší konstrukce senzoru a hlavně co možná nejlépe ovladatelným a přehledným HMI, kterým uživatel celý systém může ovládat a získávat z něj aktuální informaci o dění ve skleníku.

Práce je sestavena do pěti kapitol, z nichž první je věnována tématu automatizace, kde je nastíněna základní myšlenka a dále pak, jaké veličiny jsou ve skleníku regulovány a měřeny, je vysvětlen princip jejich funkce regulace a jejich možná rozšíření. V další kapitole je popsán průzkum jednotlivých prvků, které jsou použity. Jsou zde zmíněny senzory, které by mohly být ve skleníku použity, následně pak je vybrán jeden nejvhodnější. Třetí kapitola pojednává o návrhu HW části, kdy jsou popsány principy a postupy, které bylo nutné vytvořit před implementací systému. Čtvrtá z kapitol je věnována návrhu SW, kde je vysvětlena funkce programu a jednotlivých vykonávaných procesů. Poslední z kapitol dokazuje dosažené výsledky práce při experimentálním měření, které byly získány od začátku vegetačního období.

2 Automatizace

Automatizace je dnes rozšířeným pojmem, a to hlavně v moderních továrnách. Tvoří základ třetí průmyslové revoluce, která vypukla v roce 1969. Pokračovala tak v druhé průmyslové revoluci, která díky elektrifikaci umožnila zjednodušit výrobní proces. V třetí průmyslové revoluci byly kladeny nároky na efektivnější výrobní proces, zvýšení kvality výrobků, produktivity a hlavně o snížení výrobní ceny produktu. O automatizaci je podrobně psáno v [11]



Obrázek 1: Jednotlivé průmyslové revoluce a jejich hlavní účel

Všechny faktory mají za následek buď úplné, anebo alespoň částečné odstranění lidského faktoru z výrobního procesu, jelikož ten je největší překážkou v cestě k co nejvíce efektivní výrobě, protože podléhá mnoha faktorům jako jsou například zdravotní stav, únava, emoce z osobního života, musí být dodržovány přestávky, a to vše za vysokou cenu v porovnání s automatizovaným procesem, který těmto aspektům nepodléhá. Má ovšem i své nevýhody, kterými jsou například poruchovost, stárnutí a opotřebování materiálu a neustálá potřeba dohledu člověka, který odstraňuje neočekávané chyby v procesu. Touto dobou svět prochází čtvrtou průmyslovou revolucí, která se opět týká automatizace. Snaží se vše připojit k internetu tak, aby veškeré řízení bylo dostupné na internetu pomocí osobního počítače, nebo telefonu.

2.1 Součásti automatizovaného systému

Každý automatizovaný systém se skládá z několika základních částí, které potřebuje pro svou funkčnost a ovládání.

2.1.1 Akční prvky

Jsou ovládaným prvkem celého automatizovaného systému. Ve výrobním procesu zastávají práci pohonů, teplotních zářičů a spoustu dalších. Aby se zajistila regulace, musí být výstupní veli-

čina akčního prvku sledována a mít zpětnou vazbu na žádanou veličinu. Spolu tvoří regulační odchylku.

2.1.2 Vstupně výstupní prvky

Zajišťují komunikaci a převod mezi MCU a akčními prvky. I/O zařízení mohou být přímo součástí MCU anebo je možné je mít jako samostatný člen, který může přímo komunikovat s řídicí jednotkou nebo může být takzvanou vzdálenou periferií. Dělí se do základních dvou možných kategorií.

- **Analogové I/O-** Analogové periferie se používá pro převod signálů, podle toho, jestli jsou vstupní, nebo výstupní. Pro vstupní veličiny se používá ADC převodník, například pro čtení vlhkosti. Naopak pro výstupní veličiny se používá DAC převodník, například pro zpracování zvuku. Podrobně o analogových periferiích je psáno v [4].
- **Digitální I/O-** Nespojité diskrétní signály musí být zpracovávány v digitální periferii. Vstupní signál může představovat například senzor přítomnosti a výstupní signál například ovládání motoru pomocí PWM. Podrobně o digitálních periferiích je psáno v [5].

2.1.3 Mikroprocesor

Je středem celého procesu, který potřebuje stálý a spolehlivý výkon právě dodávaný procesorem. Stará o chod programu a provádění výpočtů a přerozdělování práce dalším zařízením.

2.1.4 Rozhraní člověk - stroj

HMI je propojením mezi uživatelem a strojem. Zde je možnost manuálně nastavovat a upravovat parametry výsledné formy výrobku. Je zde možné taktéž sledovat stav a případné hlášení poruch. Ovládací panel může být buďto u stroje, nebo vzdáleně pomocí serveru. O HMI je psáno v [6].

2.2 Typy automatizovaných systémů

Zde jsou popsány dva základní typy automatizovaných systémů z pohledu jejich provedení, složitosti návrhu, programování a údržby.

2.2.1 Programovatelné logické automaty

Programovatelné logické automaty dosahují svého největšího rozmachu, a to hlavně kvůli všestrannosti použití, jednoduchosti jejich programování a údržby systému. Jedná se o zařízení, složené z MCU a periferií propojených mezi sebou nejčastěji průmyslovou sběrnici, například PROFINET. Programování je většinou velice intuitivní, založené na několika stylech, buď grafickém programování pomocí reléové logiky zvané Ladder, hradlové logiky anebo textové editaci. Ladder logika je podrobně popsána v [7]. Největší výhodou je univerzálnost PLC pro použití

v jakémkoli prostředí pro jakýkoli účel i opakovaně. Ovšem mají jednu zásadní nevýhodu, kterou je pořizovací cena až několik desítek tisíc korun. Mezi největší zastupitele patří firmy Siemens, ABB, FESTO, Mitshubishi a další.

2.2.2 Vestavěné systémy

Tyto systémy nejsou tak rozšířené kvůli jejich poměrně složité obsluze. Jedná se o systémy, které jsou speciálně navrženy přímo pro daný typ aplikace a prostředí, což značně ovlivňuje i cenu, protože je třeba investovat čas do vývoje. Jejich výhodou bývá velký výpočetní výkon a malá odezva v regulačních obvodech. Jejich programování vyžaduje patřičnou znalost, jelikož se programují v jazyku C nebo v jeho úpravách.

2.3 Automatizace skleníku

Úkolem práce je navrhnout automatizovaný skleník pro efektivnější pěstování rostlin, ušetření lidské práce a času a také by měl uživatelům přispět k lepší přehlednosti veličin, které jsou ve skleníku měřeny. Dále následuje text, týkající se automatizovaných procesů.

2.3.1 Zavlažování

Pokud by měl člověk skleník zalévat manuálně, nastává problém s efektivním a ekonomickým postupem. Rostliny by se měly zalévat ráno před tím, než se skleník vyhřeje, aby půda měla dostatek času vodu vsáknout, dále by se během dne měla udržovat půda stále vlhká a nemělo by se zapomínat zavlažovat ani přes noc. Ohledně množství vody, které by mělo být použito na danou rostlinu, je mnoho názorů, ty se shodují ve složitosti dávkování vody, jelikož záleží na složení půdy, typu vody (její tvrdosti a pH) a také na odrůdě rostlin.

- **Princip funkce zavlažování:** Voda je skladována v nádrži, která je plně uzavřena a neprůsvitná, aby se v ní netvořily řasy. Hladina je hlídána a zobrazována na ovládacím panelu. Pokyn k zavlažení skleníku je dán senzory půdní vlhkosti, které dají pokyn k zavlažení když dosáhnou své minimální povolené hranice. Voda ze zásobníku prvně prochází filtrem a je zbavena hrubých nečistot, které by mohly způsobit ucpání jednoho ze tří ventilů. Skleník je rozdělen na tři zóny, které jsou na sobě nezávislé, tím se docílí rovnoměrné závlahy záhonů. Ventily propustí vodu do kapkovacích hadic, které dávkují vodu v pomalém množství. Pokud je půda dostatečně mokrá, zaznamenají to půdní senzory, tím dojde k uzavření ventilů. Cyklus se opakuje podle potřeby a díky sledování vlhkosti půdy je docíleno poměrně kvalitní regulace, na rozdíl od běžných časových závlah, které se spouští bez ohledu na to, zdali je závlaha opravdu potřeba.
- **Možná rozšíření:** Dále je možné pro zkvalitnění péče o rostliny uvažovat úpravu vody na potřebnou teplotu, která bude ideální pro jednotlivé plodiny. Rozšiřující možnost může být i dávkování hnojiv spolu s vodou, protože existují i kapalná hnojiva, která jsou k tomuto

účelu určena. Možná je i provzdušňování vody, nebo její dopování CO₂, které podporuje růst rostlin.

2.3.2 Výměna vzduchu

Regulace průtoku vzduchu skleníkem je další z důležitých faktorů, protože může ovlivňovat teplotu ve skleníku, případně množství CO₂ ve vzduchu a vlhkost vzduchu. Kapitola je rozdělena na dvě kategorie. Odvětrávání závislé na teplotě a dále na vlhkosti.

1. Výměna vzduchu závislá na teplotě

Skleník má nahrazovat prostředí a podporovat lepší růst rostlin, které by jinak v našich podmínkách neplodily dobře nebo vůbec. Teplotní rozdíl je hlavním důvodem vzniku skleníku, proto regulací teploty můžeme zvýšit plodnost rostlin a kvalitu jejich plodů. Níže je tabulka s teplotami, okolo kterých by se vzduch ve skleníku měl pohybovat a to pro tři nejčastější plodiny pěstované ve skleníku.

Tabulka 1: Teploty pro tři základní rostliny v průběhu roku

Měsíc	Počasí	Teplota (°C) ±1°C		
		Okurka	Rajče	Salát
Leden - Únor	Jasno	20	17	17
	Zamračeno	18	14	11
	Noc	17	13	7
Březen - Duben	Jasno	22	24	22
	Zamračeno	21	16	16
	Noc	18	15	8
Květen - Srpen	Jasno	25	27	-
	Zamračeno	22	24	-
	Noc	19	18	-

- **Princip funkce výměny vzduchu**

Ovládací veličinou jsou 3 teplotní a vlhkostní senzory DHT22, které jsou rozmístěny v různých výškách a průměruje se jejich teplota. Limitní horní mez vždy dává pokyn k otevření oken, ta se otevírají pomocí motorů, které jsou upraveny tak, aby poháněly matku na závitové tyči, která zvedá, nebo snižuje okno. Spodní limitní mez dává pokyn k zavření oken. Meze teplot bude možné měnit pomocí ovládacího panelu.

- **Možná rozšíření**

Pro lepší a efektivnější regulaci teploty a vlhkosti ve skleníku je možné okna otevírat po částech, ale to v práci použito není, jelikož by bylo časově náročné odpozorovat kdy je ve skleníku ideální teplota. Dvoustavové řízení je pohodlnější i pro obsluhu, která není znalá v oblasti řízení.

Tabulka 2: Meze teplot pro výměnu vzduchu

Měsíc	Část dne	Teplotní minimum (°C)	Teplotní maximum (°C)
Leden - Únor	Den	20	17
	Noc	17	13
Březen - Duben	Den	22	24
	Noc	18	15
Květen - Srpen	Den	25	27
	Noc	19	18

2. Výměna vzduchu závislá na vlhkosti

Vlhkost je další veličinou, která když se hlídá a reguluje, tak zvyšuje kvalitu pěstovaných rostlin. Rostliny bývají často velmi citlivé na vlhkost, proto je třeba pořádně dbát na limity vlhkostí ve skleníku. Jedna z nejúčinnějších cest, jak zabránit uhnívání rostlin kvůli vysokému obsahu vody ve vzduchu, je vyměnit vzduch pravidelným odvětráním. Nejedná se však pouze o úhyn rostlin způsobený hnilobou, ale také o šíření nemocí mezi rostlinami. Tabulka číslo 2 říká, jak by mělo být postaráno o vlhkost při daných teplotách, tak aby bylo zabráněno šíření nemocí.

- **Princip funkce výměny vzduchu**

Spolu s vlhkoměrem DHT22 je v pouzdře umístěn i teploměr, čehož bylo využito a teplota je měřená ve třech různých výškách. Výsledná vlhkost je poté zprůměrovaná a zobrazuje se na ovládacím panelu. Regulace vlhkostí není zavedena a je použita jen jako informační veličina. Metody, které se používají ke snížení vlhkosti ve skleníku jsou popsány v [12].

- **Možná rozšíření**

Nabízí se aktivní vlhčení vzduchu, kdy je jemným popraškem vody zvyšována vlhkost ovzduší. Je ale třeba hlídat teplotu, protože s přibývajícím vlhkostí se snižuje. Regulace by byla složitější, nehledě na to, že by se systém prodražil kvůli použití čerpadel pro vodu do rozprašovačů. Dále se nabízí efektivnější systém odvětrání vlhkosti pomocí ventilátoru, což je náročnější po energetické stránce. Možné je také skleník vyhřívat, což sníží vlhkost ve skleníku, ale toto se používá například v chladných jarních nebo podzimních dnech, což by mělo smysl uvažovat u velkých průmyslových skleníků. V malém měřítku je toto neekonomické.

2.3.3 Zaznamenání deště

Tato aplikace nevyžaduje žádné speciální technické vybavení a je poměrně jednoduchá na montáž. Ve skleníku snažíme vytvořit umělé a stálé klima, které může být narušeno deštěm. Ten může být doprovázen větrem, můžou se změnit hodnoty teplot a vlhkostí ve skleníku.

- **Princip funkce:** Pokud na senzory deště dopadne voda, okamžitě se zavřou veškerá okna. Jakmile déšť přestane, senzory oschnou, tak se okna automaticky otevřou, pokud jsou dosaženy limity vlhkosti anebo teploty. Zde může nastat problém s ranní rosou, nebo s dlouhotrvajícími dešti. V druhém případě lze manuálně pomocí ovládacího panelu vypnout zavírání oken.
- **Možná rozšíření:** Zde se nabízí při použití stejného snímače deště vyhřívat snímací desku, aby byl po dešti opět skleník co nejrychleji vrácen do normálního režimu. Toto je však náročné na dodržení potřebného krytí, na mechanismus vyhřívání atd. Jednodušší je použít klasický senzor a ten naklonit tak, aby po něm voda stékala.

2.3.4 Zásoba vody

Závlahou pro rostliny nemůže být studená voda, ale musí být přehřátá, proto se skladuje v barelu, který je na přímém slunci. Proud vody do závlahy je řešen samospádem, nejsou zde žádná čerpadla.

- **Princip funkce:** Zásobník pro vodu na zavlažování je vyroben z barelu, který má pro hlídání výšky hladiny připevněný ultrazvukový senzor vzdálenosti. Ten zaznamenává naplnění nádrže. Hodnota se převádí na ovládací panel v procentech. Doplnění vody se bude provádět připojením hadice, a pokud dosáhne hladina maximální výšky, je voda odvedena přepadem na záhon vedle skleníku. To, že je barel plný, je signalizováno na ovládacím panelu.
- **Možná rozšíření:** Je možné sbírat rosu z oken, nebo dešťovou vodu ze střechy domu nebo skleníku, tu poté skladovat a používat jako závlahu, což je ekonomičtější řešení než vodu doplňovat. Pokud je třeba skleník používat i za chladnějších dní a nocí je dobré zamyslet se nad vyhříváním vody. Voda by měla mít okolo 24°C, ovšem vyhřívání jsou opět finance navíc. Dále lze uvažovat o měření pH vody a její úpravu. Zde by ovšem bylo nutné mít zařízení pro dávkování chemie pro úpravu pH. Toto by se dalo použít pro větší aplikace.

3 Senzorické vybavení

Tato kapitola se zabývá rozbořem senzorických součástí skleníku, pojednává o veličinách, které ve skleníku lze měřit, jaké prvky pro jejich měření použít. Na závěr je vysvětleno, proč a který senzor byl ve výsledném produktu použit či naopak.

3.1 Senzory teploty

Senzorů teploty existuje mnoho druhů, jelikož je to jedna z nejrozšířenějších měřených veličin. Postupně jsou zde rozebráni zástupci nejpoužívanějších senzorů, jako jsou PT100, DS18B20 (Dallas), termočlánek, NTC termistory a PTC termistory.

Ve skleníku je teplota důležitou veličinou, která by měla být hlídána. Ideální je rozmístit teplotní senzory do různých výšek tak, aby byly měřeny všechny teplotní vrstvy, které vznikají, když nejsou otevřena okna a prostorem neproudí vzduch, který by vrstvy promísil. Proto se teplotní senzory nejčastěji umísťují minimálně do dvou výšek, přičemž jeden snímá teplotu v nejvyšším bodě a druhý nejlépe v poloviční výšce.

Teplota půdy je další hlídanou veličinou. Teplotní čidla jsou konstruována tak, aby odolala vlhkosti, a bylo je možné kdykoliv přemístit. Přemístění senzorů je důležité, pokud chceme hlídat teplotu půdy pouze tam, kde se aktuálně pěstuje. Teplota půdy bude udávat závislost na tom, jak bude půda dále zavlažována.

Poslední měřená z teplot je venkovní. Ta slouží pouze jako orientační pro operátora skleníku, zároveň je předpřipravená pro další zavedení regulace do skleníku.

3.1.1 PT100

Tento typ senzoru je brán jako snímač půdní teploty, tudíž je počítáno s vodotěsným pouzdrům senzoru. Rozebírán je rozdíl mezi dvěma typy. Těmi jsou PT100 s teplotním koeficientem 3850ppm/°C a teplotním koeficientem 3911ppm/°C. Jejich porovnání je v tabulce 3.

Tabulka 3: Základní vlastnosti senzorů řady PT100

Typ	PT100-3850	PT100-3911
Minimální pracovní teplota	-50°C	-200°C
Maximální pracovní teplota	6000°C	4000°C
Odpor při 100°C	100Ω	100Ω
Maximální ss měřicí proud	3mA	5mA
Doporučený ss měřicí proud	1mA	0,3 - 1mA

PT100 je řada odporových platinových senzorů. Tento senzor je pro správné měření potřeba napájet zdrojem proudu, ideálně 1mA, jelikož délka vedení je u tohoto čidla podstatná, musíme odpor měřit až na konci jeho vedení.

Tato čidla mají podstatnou výhodu, kterou je rozsah teplot s rozdílem až 650°C. Další výhodou je taktéž jejich přesnost, kdy v nejvyšší třídě dosahují při teplotě 0°C pouhých 0,04°C u verze 3850 a 0,06°C u verze 3911. O měření pomocí PT100 je psáno v [8].

Jejich nevýhodou je ovšem datové vedení mezi senzorem a dalším zpracováním. Jelikož se data mění v závislosti na odporu, je třeba počítat i s odporem datového vedení. Pokud je třeba prodloužit nebo zkrátit vodiče, musí se před dalším měřením znovu kalibrovat.

Od použití tohoto čidla ve skleníku bylo odstoupeno. Odezva senzoru není problémem, ale řešení délky datového vedení v závislosti na ceně by bylo pro skleník nemyslitelné. Senzor samotný se pohybuje od 500Kč se základním dvoumetrovým datovým vodičem. Ve skleníku je třeba použít vedení dlouhé až sedm metrů, přičemž senzorů teploty půdy je až 6 možných. Výsledná cena by se razantně promítla na ceně celé práce.

3.1.2 Dallas

Tento senzor je opět brán jako senzor půdní teploty s vodotěsnou úpravou. Jeho základní charakteristiky jsou vypsány v tabulce 4.

Tabulka 4: Základní vlastnosti senzoru DS18B20 Dallas

Typ	DS18B20
Minimální pracovní teplota	-55°C
Maximální pracovní teplota	125°C
Přesnost	±0,5°C
Napájecí napětí	3 - 5,5V

Dallas patří mezi polovodičové senzory a vyznačuje se širokou škálou použití, zejména díky jeho možnosti připojení k MCU.

Jeho největší výhodou je možnost připojení datového vedení k MCU pomocí OneWire sběrnice. Ta umožňuje připojení více senzorů na jednu sběrnici, čímž se ušetří na datovém vedení. Každý z nich má svou unikátní adresu, pomocí které je možné volat jednotlivý Dallas zvlášť. Druhou výhodou je bezesporu možnost nastavení alarmů. Alarmy se dají nastavit pro horní a spodní teplotní mez. Jenou nevýhoda se objevuje při použití OneWire zapojení, kdy je při poškození sběrnice vyřazena celá větev senzorů.

Tento senzor byl zvolen jako půdní teploměr z důvodu možnosti ušetření pinů na MCU a úspory peněz. Senzor v kovovém pouzdře se pohybuje cenově od 100Kč.

3.1.3 Termočlánky

Termočlánky je možné použít pro měření vnitřní teploty v rozdílných teplotních výškách a měření venkovní teploty.

Termočlánků je opět velké množství. Liší se teplotními rozsahy, které mají termočlánky poměrně široké. Pro skleník jsou uvažovány termočlánky typu J, typu K a typu T, porovnány v tabulce 5. Závislost teplotních rozsahů termočlánku je dána použitými materiály na jeho hrotu.

Tabulka 5: Základní vlastnosti termočlánků

Typ termočlánku	J	K	T
Min. pracovní teplota	-40°C	-200°C	-270°C
Max. pracovní teplota	750°C	1200°C	400°C
Referenční napětí při 0°C	0mV	0mV	0mV
Tolerance pro -40 - 375°C (pro T až 125°C)	1,5°C	1,5°C	0,5°C
Přibližná hodnota napětí při 100°C	54V/°C	42V/°C	46V/°C
Materiál	Fe - CuNi Železo-Konstantan	NiCr - NiAl Chromel-Alumel	Cu - CuNi Měď-Konstantan

Termočlánky v aplikaci skleníku použity nejsou, jelikož není potřeba měřit v tak širokém rozsahu teplot. Jeho cena, pokud bychom použili tři senzory, by začínala na 1200Kč.

3.1.4 NTC a PTC termistory

Tyto senzory je možné použít pro měření vnitřní teploty a měření venkovní teploty. Porovnání vlastností NTC a PTC je v tabulce 6. Základní parametry byly podrobně popsány v [9].

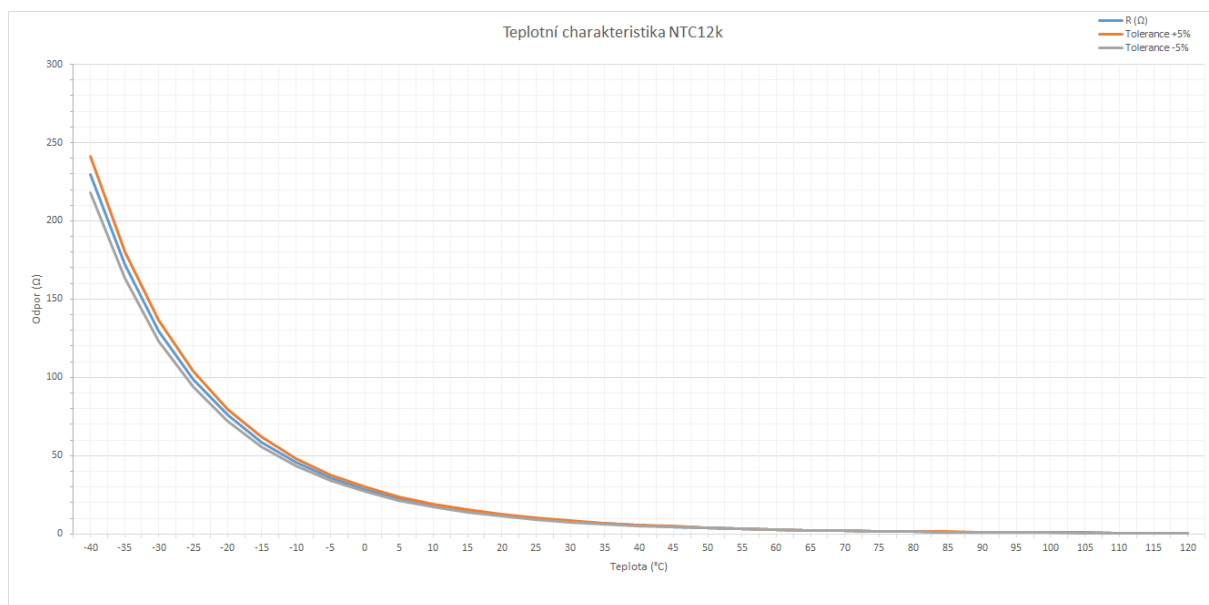
Tabulka 6: Vlastnosti senzorů NTC a PTC

Typ	NTC	PTC
Teplotní součinitel odporu	-0,03 až -0,06K ⁻¹	0,01K ⁻¹
Minimální teplota	-50°C	-55°C
Maximální teplota	150°C	150°C

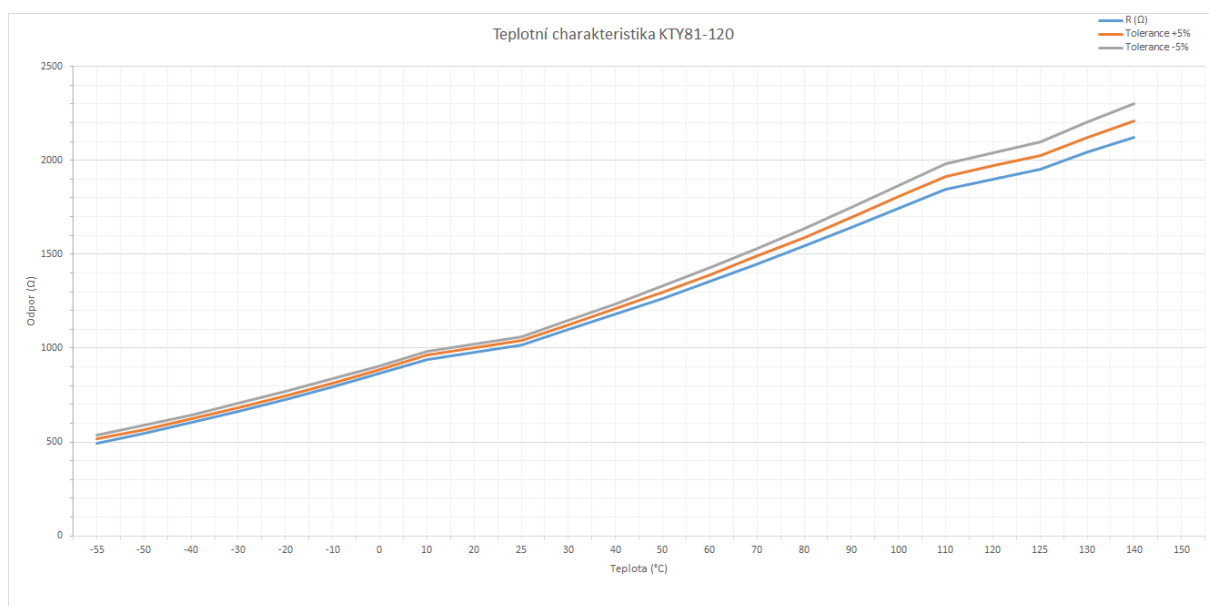
NTC termistory mají záporný teplotní součinitel odporu, tudíž fungují na principu, kdy se zahříváním uvolňují nosiče náboje do vodivostního pásma, čímž dochází k snižování odporu termistoru. Graf NTC termistoru je na obrázku 2.

PTC termistory naopak mají kladný teplotní součinitel odporu, avšak křivka odporu v závislosti na teplotě je nelineární, což lze vidět i na jeho grafu v obrázku 3.

Pro aplikaci skleníku byly vybrány NTC termistory, protože jsou dostupné cenově a hlavně v provedení s čidlem vlhkosti v jednom pouzdře. U výběru tedy vyhrála kompaktnost a cena. Tento senzor je znám pod názvem DHT22. Původně měl být použit DHT11, ale ten má oproti DHT22 několik nevýhod, ty se promítly nepatrně i na ceně produktu. Porovnání těchto senzorů je v tabulce 7.



Obrázek 2: Teplotní charakteristika závislosti na odporu senzoru NTC12k



Obrázek 3: Teplotní charakteristika závislosti na odporu senzoru PTC

Tabulka 7: Základní charakteristiky senzorů typu DHT

Typ	DHT11	DHT22
Minimální teplota	0°C	-40°C
Maximální teplota	50°C	125°C
Teplotní odchylka	±2°C	±0,5°C
Vzorkovací frekvence	1Hz	0,5Hz

3.2 Senzory vlhkosti

Tato kapitola pojednává o metodách měření vlhkosti, kterou je třeba měřit všude tam, kde je třeba hlídat její hodnotu za účelem efektivního růstu rostlin, ochrany zaměstnanců, ochrany materiálů proti nadměrné vlhkosti a spoustu dalších.

Vlhkost samotná má několik charakteristik, mezi které patří například absolutní vlhkost, ta vyjadřuje nasycení určitého objemu vzduchu vodními parami. Nejčastěji měřená je relativní vlhkost udávající poměr mezi maximálním nasycením a skutečným nasycením vzduchu vodními parami.

Ve sklenících se hlídají nejčastěji tři rozdílné vlhkosti. První je půdní, která slouží jako informace, zdali zavlažovat nebo ne. Druhá je vlhkost vzduchu ve skleníku, která spolu s vnitřní teplotou, je ovládací veličinou motorům otvírající okna. Poslední, venkovní vlhkost, je opět pouze orientační vlhkostí pro operátora skleníku, ovšem může být použita jako senzor deště, není to ale nejlepší způsob.

Dále kapitola pojednává o senzorech samotných. Pro tuto práci je uvažováno třech typů senzorů a to psychometrické, odporové a kapacitní.

3.2.1 Psychometrický vlhkoměr

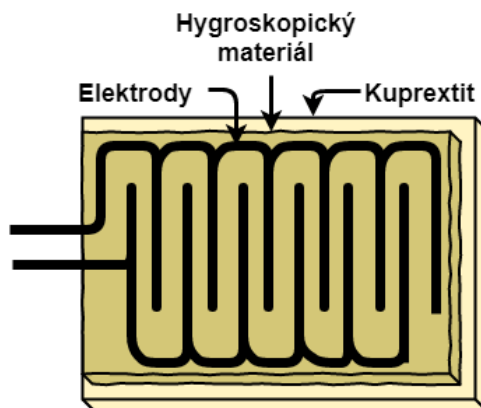
Tento vlhkoměr využívá dvou teploměrů, nejčastěji platinových například PT1000. Jeden z nich je suchý, což znamená, že je vystaven aktuální teplotě. Druhý je mokrý, protože je obalen tkaninou, která je namočená v nádobce pod ním. Tekutina vzlíná až po část, kde je tkanina omotána kolem měřicího tělesa. Tím, že se tkanina vysušuje, odebírá teplo z mokrého teploměru a díky psychometrických tabulek odečítáme mezi těmito dvěma teploměry rozdíl teplot. Pokud je vzduch plně nasycen vlhkostí, budou se obě teploty rovnat.

Tato typ není ve skleníku použita. Je sice poměrně jednoduchý, ale vodu v nádobce je třeba měnit. Proto bylo vybráno jiné, efektivnější a bezúdržbové řešení.

3.2.2 Odporový vlhkoměr

K měření vlhkosti pomocí odporu se využívá hygroskopický materiál, který je schopen absorbovat vlhkost. Na povrchu tohoto materiálu je nevodivá destička, nejčastěji keramická. Samotné měření probíhá mezi dvěma elektrodami, mezi kterými se mění vodivost v závislosti na změně vlhkosti, uspořádání senzoru je znázorněno na obrázku 4. Měření musí probíhat střídavým napětím z důvodu polarizace elektrod.

Tento senzor není použit, jelikož jeho rozsah měření je malý, avšak lze zde pokrýt celý rozsah vlhkosti, pokud by bylo použito více hygroskopických senzorů s různými rozsahy.



Obrázek 4: Mechanické uspořádání odporového vlhkoměru

3.2.3 Kapacitní vlhkoměr

Kapacitní vlhkoměr pracuje na principu kondenzátoru, jehož dielektrikum je tvořeno hygroskopickým materiálem, který je schopen absorbovat vlhkost z okolí. Jedna jeho elektroda je plná a druhá děrovaná, aby se docílilo přísunu vzduchu k hygroskopickému materiálu.

Tento senzor je použit v podobě senzoru DHT 22, který má v sobě zabudovaný také teploměr. Tudíž je zvoleno pro svou kompaktnost. Dále je jeho použití pro zvolený mikrokontrolér tou nejjednodušší a cenově dostupnou variantou.

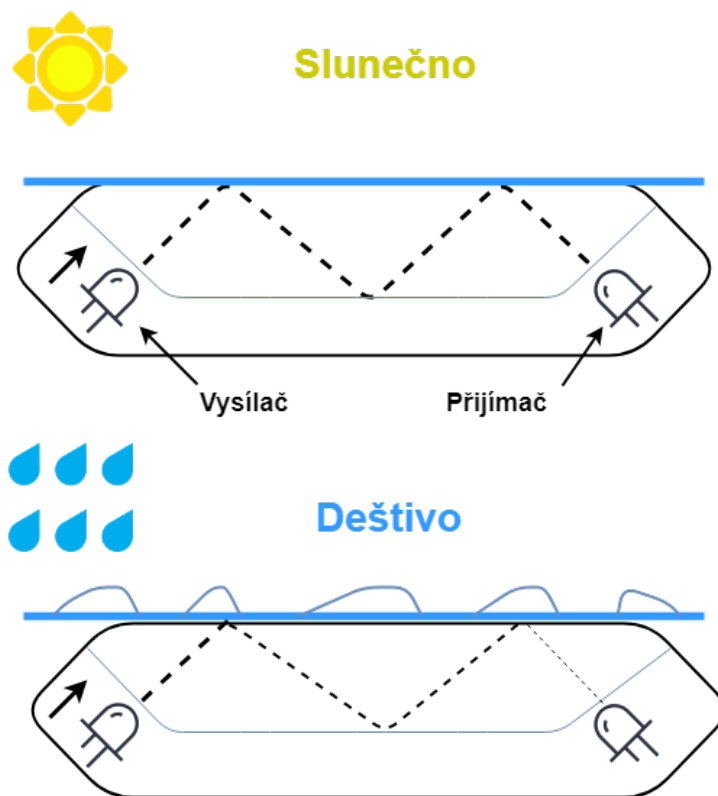
3.3 Senzory deště

Dešťové senzory se ovšem nepoužívají jen na zjišťování, zdali prší. Některé typy lze při stejné konstrukci modifikovat pomocí SW jako detektory mlhy nebo rosy. Ve sklenících se senzory deště používají jako informace o tom, zdali mají být okna zavřená, nebo otevřená. Výstupní stav však může sloužit k ovládání zavlažování, ale pouze v případě, není-li skleník konstrukčně oddělen betonovou vanou, a pokud je jeho rozloha dostatečně malá na to, aby dešťová voda prosákla až do středu skleníku. Pokud tomu tak není, je možnost vypnout závlahu pouze v zónách na okraji, tak aby uprostřed byly rostliny stále zalévány.

Dále následuje rozebrání jednotlivých principů funkce dešťových senzorů. Jejich výstupy jsou pouze logická 1 nebo 0, proto nejsou dále uváděny rozsahy a třídy přesnosti.

3.3.1 Infračervený dešťový senzor

Infračervený dešťový senzor pracuje pomocí lomu světla mezi vysílací a přijímací diodou. Diody jsou nasměrovány tak, aby vysílaný paprsek dorazil k přijímací pomocí odrazu o sklo, případně plexisklo, přičemž se paprsek musí plně odrazit, je-li však přítomná kapka, paprsek se částečně zlomí a do přijímače nedorazí dokonalá informace tak, jak je znázorněno na obrázku 5. Podrobnosti o senzoru bylo podrobně popsáno v [10].



Obrázek 5: Mechanické uspořádání infračerveného vlhkoměru

Tyto senzory se nejčastěji používají v autoprůmyslu k ovládání stírání stěračů na předním skle. Pro použití ve skleníku je tato možnost reálná, ale existují i senzory jednodušší na údržbu, které jsou i cenově dostupnější. Cena těchto senzorů se pohybuje okolo 1000Kč.

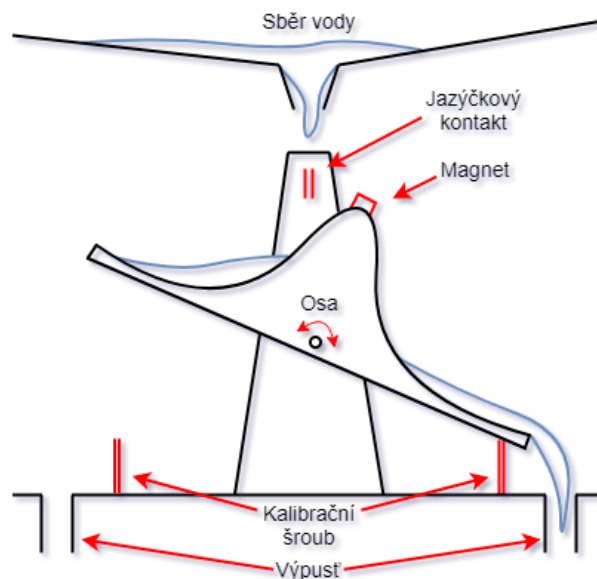
3.3.2 Kolébkový dešťový senzor

Tento senzor sbírá dešťovou vodu pomocí trychtýře, po kterém voda stéká do jedné ze dvou vaniček, ty jsou umístěny na ose. Pokud dojde k naplnění jedné vaničky, tak se překlápí a začne se plnit druhá. Mezi vaničkami je magnet, ten slouží k indikaci přítomnosti pro senzor. Voda z vaniček se odvádí pomocí kanálků ven. Princip funkce je zobrazen na obrázku 6.

Tento senzor je konstrukčně relativně složitý a je konstruován hlavně pro meteostanice. Jeho cena se pohybuje okolo 1500Kč. Pro aplikaci automatizovaného skleníku není použit z důvodu ceny a jeho poměrně velkých rozměrů. Během provozu je třeba jej čistit, aby nedocházelo k zanášení listím.

3.3.3 Hygroskopický dešťový senzor

Tímto senzorem přímo protéká dešťová voda, která přichází do styku s hygroskopickým materiálem, jehož vlastností je se s rostoucí vlhkostí zvětšovat. Jeho zvětšováním dochází k tlaku na



Obrázek 6: Mechanické uspořádání kolébkového vlhkoměru

pružinu. Při určitém množství deště pružina dosáhne až ke kontaktu, který může být magnetický nebo fyzický.

Nevýhoda senzoru se projeví, jakmile přestane pršet. Hygroskopický materiál má v tomto případě poměrně velkou časovou konstantu, tudíž systém nereaguje na změnu počasí ihned.

Tento senzor není v práci použit z důvodu údržby. Snahou práce je vytvořit co nejvíce uživatelsky přívětivý produkt. Tento senzor nevyhovuje, jelikož je nutné po čase měnit hygroskopický materiál uvnitř senzoru.

3.3.4 Odporový dešťový senzor

Principiálně je nejjednodušší. Je tvořen dvěma měděnými cestami na DPS, které se navzájem nedotýkají, ale je mezi nimi malá vzdálenost. Jakmile dopadne kapka, mezi cestami se obvod uzavře, a jelikož má voda lepší vodivost než vzduch, odpor senzoru se sníží z $20\text{M}\Omega$ na $100\text{k}\Omega$.

V této práci je tento senzor použit z důvodu jeho jednoduchosti a cenové dostupnosti. Cena tohoto senzoru se pohybuje od 50Kč

3.4 Senzory hladiny

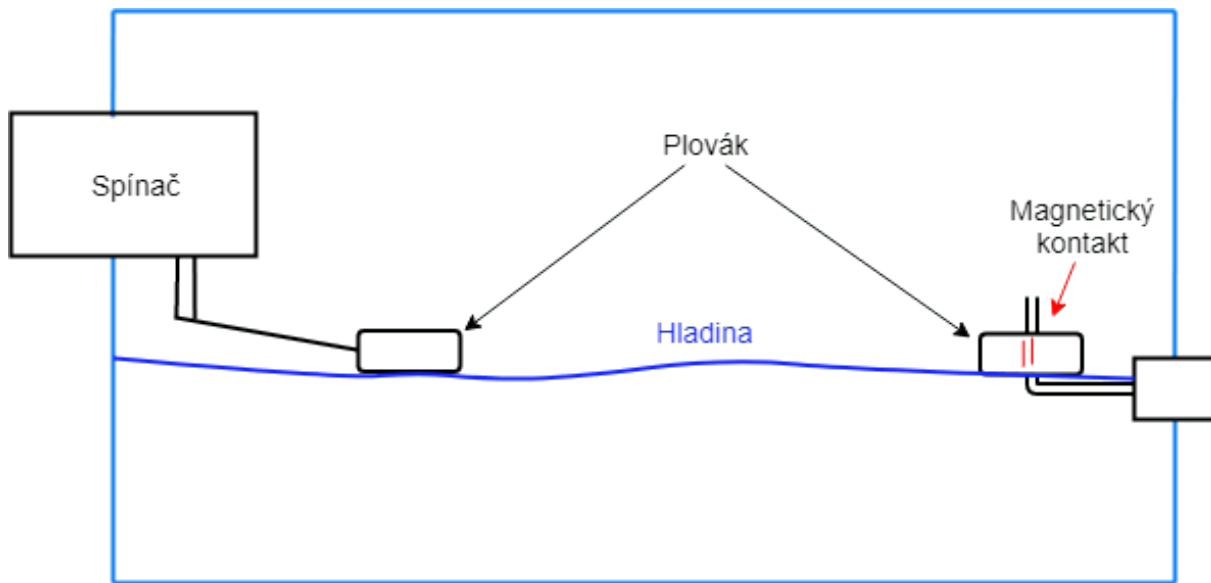
Každý skleník potřebuje závlahu, proto je třeba vodu skladovat v nádrži, kde voda získá okolní teplotu, případně se může tepelně upravit pro potřebu rostlin. Rostlinám příliš neprospívá chlorovaná voda z vodovodního řetězce, proto je dobré nechat vodu v nádrži odstát. Výšku hladiny skladované vody je třeba hlídat, aby se předcházelo prázdné nádrže, či při dopouštění jejímu přetečení.

Kapitola dále rozebírá senzory, které byly uvažovány pro použití v této práci.

3.4.1 Plovákové senzory hladiny

Tyto hladinoměry jsou buďto spojitě, nebo nespojitě.

Nespojitě podávají informaci o tom, zdali hladina je nebo není přítomna. Pokud jsou v nádrži například 3 hladinoměry, získáváme informaci pouze o plné, poloviční a prázdné nádrži. Princip je založen na kroužku, který je lehčí než voda, tudíž je nadnášen. V něm je uložen magnet, který buďto spíná nebo rozepíná kontakt, kolem kterého je magnet umístěn. Princip je vyobrazen na obrázku 7.



Obrázek 7: Mechanické uspořádání plovákového hladinoměru

Tento senzor je konstrukčně velice jednoduchý a cenově dostupný, nevýhodou však zůstává informace o výšce hladiny, která není aktuální. Ve výsledném produktu jsou tyto hladinoměry použity celkem 4, ale jen jako orientační hodnota.

Spojitě hladinoměry jsou konstrukčně poměrně náročné, protože je třeba využít plováku, který ve většině případů nadzvedává rameno nebo je zavěšen na provaze. Výšku hladiny pak převádí senzor polohy. Výsledkem je aktuální informace o výšce hladiny, která může být převedena na základní jednotky výšky.

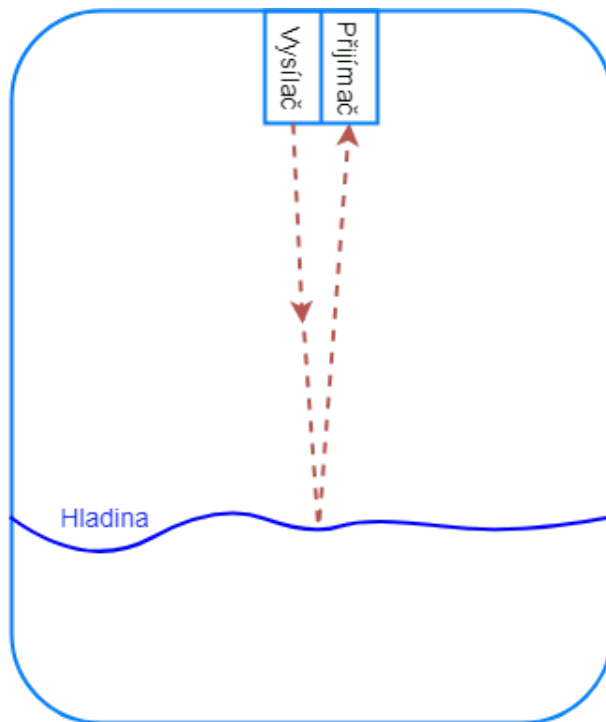
Tento senzor použit není a to z důvodu jeho mechanické náročnosti. Je zde jiný spojitý hladinoměr, který tuto nevýhodu nemá.

3.4.2 Ultrazvukový senzor hladiny

Ultrazvukové senzory se používají jako prvky v zabezpečovacích systémech, jako rychloměry a spoustu dalších. V této aplikaci se využívá jako hladinoměr. Princip funkce je vyobrazen na obrázku 8. Vysílač vysílá ultrazvukové pulzy, které se po odrazu vrátí a jsou zaznamenány

přijímačem. Senzor má nastavenou dobu, za jakou dorazí pulz od vysílače k přijímači. Pokud se tato doba změní, znamená to pokles nebo vzrůst hladiny.

Tohoto senzoru je využito, jelikož je levný a nemá mechanické části. Bude jej potřeba upravit tak, aby byl vodotěsný.



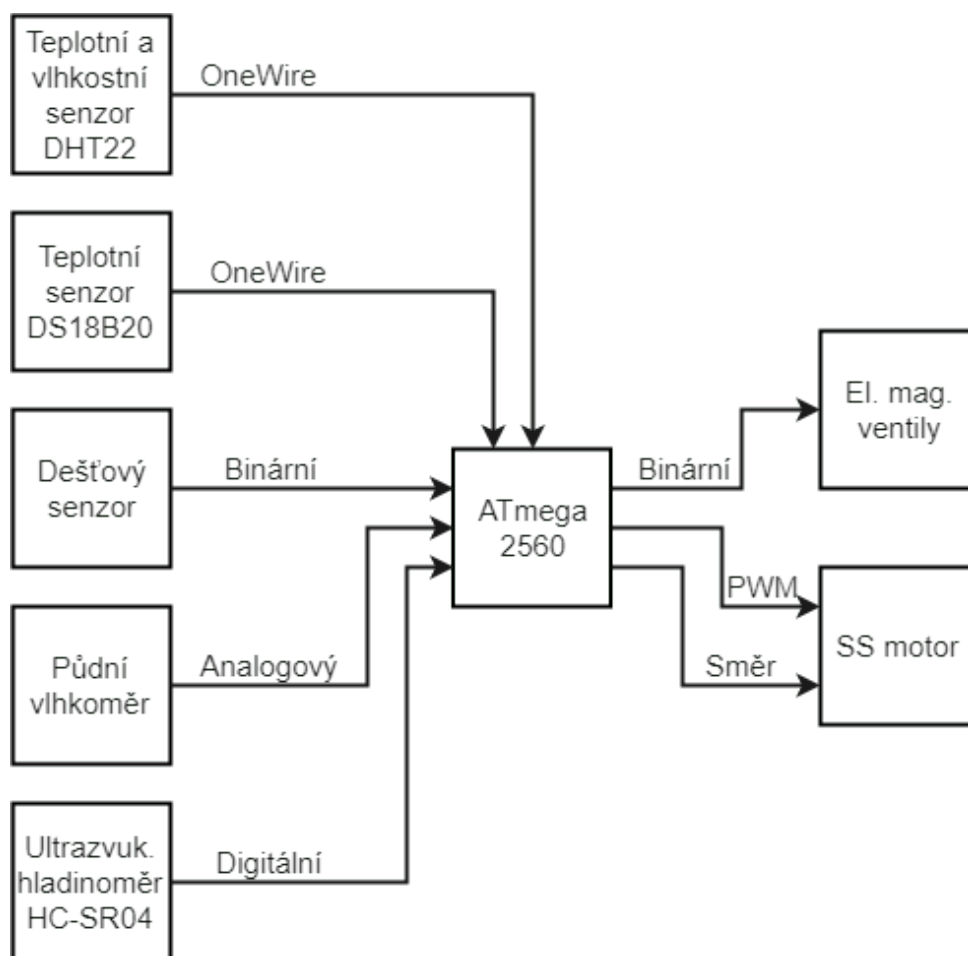
Obrázek 8: Mechanické uspořádání ultrazvukového hladinoměru

4 Řídicí systém

V předchozí části byly rozebrány vhodné typy senzorů pro aplikaci automatizovaného skleníku a v další kapitole se práce zabývá praktickým návrhem, následným zhotovením potřebného HW a jeho implementací. K závěru této kapitoly se práce zabývá návrhem SW části a procesem ladění a změn, včetně experimentálního měření.

4.1 Návrh řídicího systému

První krok návrhu tvoří blokové schéma vyobrazeno na obrázku 9, kde jsou obsaženy veškeré senzory, které byly vybrány v předchozí kapitole.

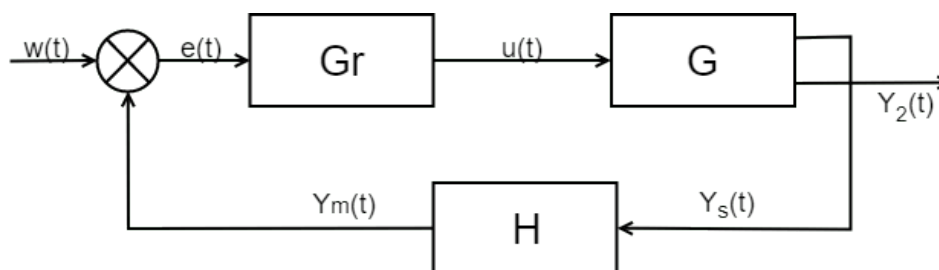


Obrázek 9: Blokové schéma řídicího systému

Celý skleník je rozdělen do tří částí. První z nich je senzorická, která obsahuje čtyři senzory kombinované senzory DHT22, které zajišťují měření teploty a vlhkosti venku i uvnitř. S mikroprocesorem komunikují digitálně a podle technického listu je vzdálenost komunikace možná až do dvaceti metrů. Další je trojice teplotních senzorů DS18B20 „Dallas“, které jsou

užity jako půdní teploměry a s mikroprocesorem komunikují pomocí sběrnice OneWire. Následuje dešťový senzor pracující pouze binárně, tudíž mikroprocesoru pouze předává pravdivostní hodnotu výroku prší. Předposlední ze senzorů jsou celkem tři půdní vlhkoměry, které předávají mikroprocesoru změnu napětí jako analogovou hodnotu. Poslední je ultrazvukový senzor vzdálenosti HC-SR04 předávající informaci o vzdálenosti digitálně. Mezi senzory a akčními prvky je mikroprocesor ATMEGA2560, který veškeré informace ze senzorů zpracovává a pomocí displeje obrazuje uživateli, dále pak aktualizuje akční členy. Na straně akčních členů jsou celkem tři elektromagnetické ventily ovládané pomocí MOSFET, dále pak stejnosměrný motor ovládaný H-můstkem pomocí PWM a směrové binární informace. Další bod návrhu se zabývá regulačními schématy, které popisují chování regulačních smyček ve skleníku.

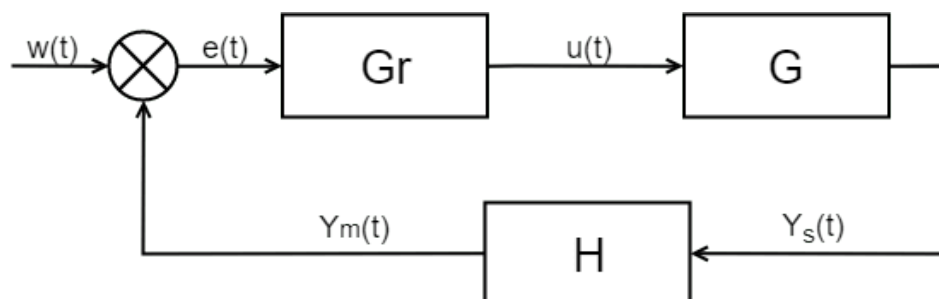
Regulátor teploty ovzduší ve skleníku, zobrazen na obrázku 10, má mezní žádanou teplotu $w(t)$ nastavenou uživatelem, tato veličina je porovnána s naměřenou veličinou $Y_m(t)$. Regulační odchylka $e(t)$ potom vstupuje do samotného kombinačního sekvenčního regulátoru G_r , který vyhodnotí regulační odchylku a na soustavu působí akčním zásahem $u(t)$, kterým je frekvence PWM ovládající rychlost zdvihu motoru a směrová informace určující zdali se má okno otevírat nebo zavírat. Do soustavy G tedy patří H můstek s motorem, a také měřicí prvky. Ty jsou reprezentovány trojicí senzorů DHT22, které snímají vlhkost a teplotu ovzduší ve třech různých výškách, proto jsou hodnoty ze senzorů následně průměrovány a výstupem je skutečná velikost teploty ovzduší. Protože je okno zvedáno přes převod na závitovou tyč, tak při plném otevření okna se soustava nevrací do původní pozice, proto je soustavou astatickou. Soustava taktéž není autonomní, protože je zde jeden vstup a dva ovlivňované výstupy, kterými jsou teplota $Y_s(t)$ a vlhkost ovzduší $Y_2(t)$.



Obrázek 10: Regulátor teploty ve skleníku

Regulátor vlhkosti půdy, zobrazen na obrázku 11, má opět žádanou veličinu $w(t)$ nastavenou uživatelem, ta se porovnává s naměřenou hodnotou $Y_m(t)$ v sčítacím členu. Regulační odchylka vstupuje do reléového logického regulátoru G_r , kde je vyhodnocena a formou akční veličiny $u(t)$, což je změna napětí, působí na soustavu G , kde je spínán N kanálový MOSFET ovládající elektromagnetický ventil zavlažování. Množství vody je přivedeno kapkovací hadicí na zeminu. Vlhkost půdy je měřena půdním vlhkoměrem, který předává naměřenou hodnotu opět porovnávacímu členu. Tato regulační smyčka se ve skleníku nachází celkem třikrát, jelikož skleník zavlažuje ve třech samostatných zónách. Zavlažování není závislé na čase, pokud by ovšem mělo

být zavedeno, jednalo by se o programovou regulaci danou časovým plánem. Základní struktury regulačních obvodů byly podrobně popsány v [3].



Obrázek 11: Regulátor vlhkosti půdy

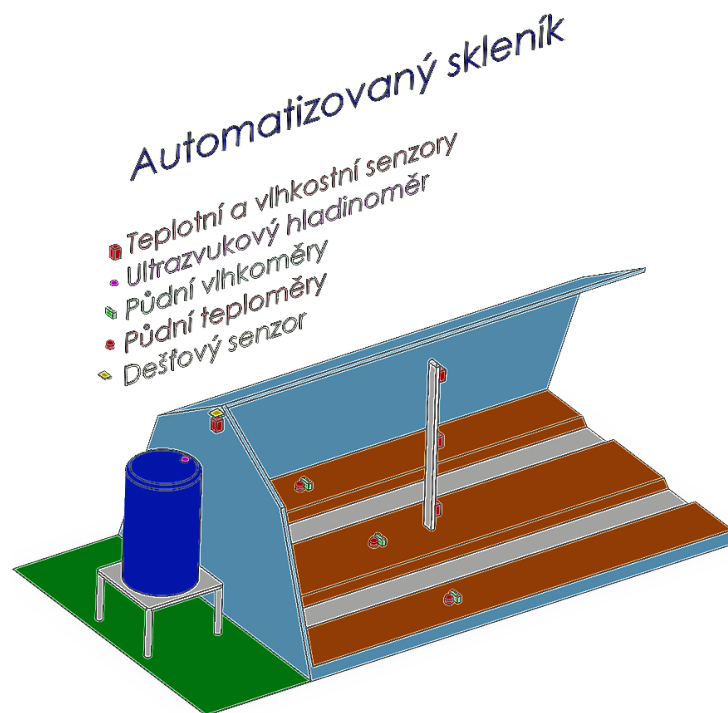
4.2 Návrh HW části

Tato kapitola pojednává o návrhu HW a její implementaci do skleníku.



Obrázek 12: Reálná fotografie konstrukce skleníku

Skleník samotný je konstrukčně postaven na betonovém základě z hliníkových profilů, mezi kterými je umístěno sklo s texturou pro rozptýlení slunečního záření a pro zvýšení skleníkového efektu. Na každé straně skleníku jsou rozmístěna střídavě tři okna, aby se zajistila co možná nejlepší výměna vzduchu. Fotografie konstrukce skleníku je na obrázku 12. Pěstební plocha má 6×3 metry (18m^2) a je rozdělena na tři samostatné záhony. Na dvou krajních se pěstují rostliny nízké, na prostředním pak rostliny vysoké. Zemina má několik vrstev, pro lepší kvalitu rostlin je pod hlínou navezeno koňské hnojivo, na kterém je vrstva hlíny. Podmínky jsou přizpůsobeny pro pěstování nenáročných rostlin, jako jsou Rajská jablka, Okurka setá, Paprika setá, Okurka salátová, Salát hlávkový a dalších.



Obrázek 13: Rozvržení senzorů ve skleníku

Z předchozích úvah bylo potřeba rozmístit celkem třináct senzorů tak, aby měřené hodnoty byly co možná nejpřesnější a odpovídaly reálným hodnotám, návrh rozmístění byl proveden v 3D programu SolidWorks, jehož výstupem je obrázek 13. Rozmístěny jsou zde celkem čtyři kombinované senzory měřící teplotu a vlhkost, z nichž jsou tři umístěny uvnitř skleníku a jeden vně. Dále pro měření vlastností půdy ve třech zónách je v každé z ní rozmístěn jeden půdní vlhkoměr a teploměr. Vně skleníku se mimo teplotního a vlhkostního senzoru nachází také ultrazvukový snímač vzdálenosti, který slouží k měření výšky hladiny v nádrži. Poslední je dvojice dešťových senzorů umístěna na střeše pro venkovní kombinovaný senzor DHT22.

4.2.1 Teplotní a vlhkostní senzory

Co nejpřesnější teplotu a vlhkost nelze ve skleníku měřit pouze v jednom bodě, proto byl zvolen způsob, kdy jsou umístěny tři senzory nad sebou, čímž se měření provádí ve třech hladinách. Detail jednoho ze tří senzorů je vyobrazen na obrázku 14.

Výsledná získaná hodnota je pomocí mikroprocesoru průměrována a je brána pouze jako jedna teplota a jedna vlhkost. Senzor je ukryt v plastovém pouzdře tak, aby se k němu dostal okolní vzduch. Originální kryt však neřeší ochranu kabeláže, proto byla vytisknuta krabice na 3D tiskárně z materiálu ABS, která má částečně pomoci ukrýt kabeláž. Takto zhotovené senzory jsou připevněny na kanálu pro kabelové vedení, kterým je vedena kabeláž ze senzorů ke krabici. Senzor pro snímání venkovní teploty ovzduší a vlhkosti je umístěn na severovýchodní straně



Obrázek 14: Detail kombinovaného senzoru DHT22

skleníku. Venkovní parametry se obvykle měří ve stínu, proto je umístěn v krabici Sensit pro čidlo NS101, která ale nezamezuje vniknutí vody na elektroniku, proto byla z plechu vyrobena stříška pod kterou se veškeré komponenty namontovaly. Venkovní senzor je pouze informativní, avšak lze jej provázat s regulační smyčkou pro otevírání oken. Veškeré senzory mají na napájecích svorkách kondenzátor na odfiltrování parazitního napětí.

4.2.2 Senzory pro měření parametrů půdy

Vlhkostní a teplotní senzory musí být ve skleníku umístěny tak, aby jimi naměřené hodnoty korespondovaly s reálnými hodnotami v oblasti kořenů rostlin, proto jsou umístěny tak, aby byly těsně pod povrchem půdy.

Důležité u senzoru je v průběhu sezóny měnit jeho polohu podle rozložení rostlin, tomu je uzpůsoben kryt senzoru. Ten je vyroben tak, aby jej bylo snadné přenášet, a aby nevadil uživateli při okopávání rostlin. Konstrukce se skládá ze svařených vodařských trubek tak, aby působila jako rukojeť s dvěma hroty, z nichž jeden slouží jako opěrný a druhý jako kryt pro elektroniku senzoru a jako výstup pro měřicí hroty, ten je vyobrazen na obrázku 15. Prostor okolo senzorů je vylit silikonem, aby se zamezilo průniku vlhkosti k elektronice. Napájení senzorů a komparátor k půdnímu vlhkoměru jsou umístěny v bezprostřední blízkosti senzorů a je jim uzpůsobeno místo v měřícím hrotu konstrukce senzoru. Na napájecím přívodu je opět umístěn kondenzátor. Analogový výstup z vlhkoměru a digitální z teploměru jsou vedeny kabelem UTP 5e celou konstrukcí přes průchodku PG7 ven, až do propojovací krabice ve středu skleníku. Konstrukce je vyobrazena na obrázku 16. Celková délka vedení až k mikroprocesoru se pohybuje okolo šesti



Obrázek 15: Detail měřicího hrotu půdního vlhkoměru a teploměru



Obrázek 16: Konstrukce půdního vlhkoměru a teploměru

metrů. Takto zkonstruované senzory jsou ve skleníku celkem tři, aby na každý záhon připadl jeden senzor. Regulace je spojena pouze se senzory vlhkosti, teplotní senzory jsou zde pouze jako informativní, v případě potřeby lze na ně navázat regulaci teploty vody v nádrži.

4.2.3 Dešťové senzory

Tyto senzory jsou umístěny vně skleníku na plechové střeše pro venkovní DHT22 tak, jak je vyobrazeno na obrázku 17. Konstrukcí senzoru je krabička vytisknutá na 3D tiskárně z materiálu ABS, do které jsou umístěny dva komparátory a měřicí plochy jsou vyvedeny mimo tak, aby krabička se senzory působila jako jeden celek. Okraje kontaktních ploch a vstup kabeláže

je zalit silikonem pro zamezení přístupu vody. Dvojice senzorů je navázána na regulaci oken s podmínkou, říkájící že pokud prší, mají být zavřená okna. Celková délka vedení je 6,5 metru.



Obrázek 17: Detail umístění dešťového senzoru

4.2.4 Ultrazvukový senzor hladiny

Pro aplikaci měření výšky hladiny v nádrži byl vybrán ultrazvukový senzor HC-SR04, který není ve vodotěsné úpravě, proto bylo třeba jeho konstrukci upravit a vsadit jej do krabičky s vodotěsnou úpravou. Ta byla opět vytisknuta na 3D tiskárně z materiálu PETG. Možnost 3D tisku se zde uplatnila, jelikož padesáti litrový barel, jako nádrž na vodu, má v sobě dva otvory se šroubovicí, do kterých byla krabička vsazena což lze vidět na obrázku 18. Kritická místa senzoru byla zalita silikonem. Problém by nastal, kdyby byl senzor vytopen vodou, proto je dodatečně na senzor vlepena trubka o průměru 50mm pro vytvoření zvonu a zabránění vytopení senzoru. Kabeláž je vedena kabelem UTP 5e do propojovací krabice přes průchodku PG7. Celková délka kabeláže je 6,5 metru.

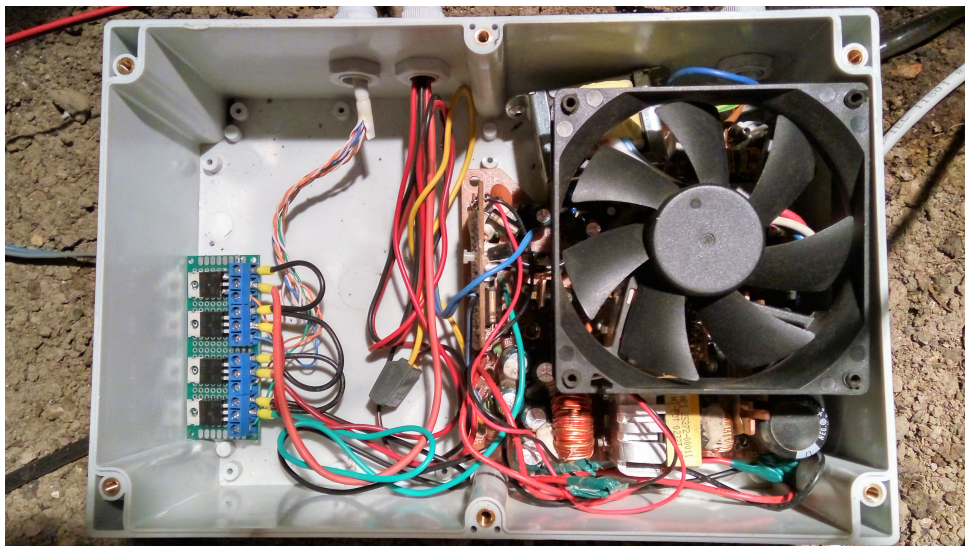
4.2.5 Napájecí zdroj

Jako napájecí zdroj je využit ATX počítačový zdroj s výkonem 185W. Požadavek na celý skleník je co nejmenší spotřeba elektrické energie, protože automatizací je snaha ušetřit za výdaje, což se z pohledu vody podařilo, ovšem zdroj elektrické energie může tuto úsporu zase vyrovnat zpět. Celý systém je proto navrhnut tak, že napájení mikroprocesoru a senzorů je provedeno přes fialovou větev ATX zdroje, která je neustále napájena +5V. Zbylé větve se zapínají pouze tehdy, pokud je třeba provést změnu na akčním prvku. Díky tomu se ušetří značná část elektrické energie a prodlužuje se životnost zdroje. Zapojení ATX zdrojů bylo podrobně popsáno v [13]. Spínání elektromagnetických ventilů zavlažování je provedeno N kanálovým MOSFET, kdy je vše



Obrázek 18: Ultrazvukový senzor vzdálenosti se zvonem

spínáno přes zem zdroje. Na ovládání oken a zavlažování je využita žlutá +12V větev zdroje. Kabeláž zdroje byla kompletně předělaná a byly vyvedeny jen ty větve, které jsou opravdu potřeba. Zdroj byl zvolen kvůli jeho ceně a hlavně kvůli libovolné možnosti rozšíření napájení pro další úpravy skleníku. Další výhodou je, že všechny větve jsou chráněny proti nadproudům a zkratům, takže není potřeba přidávat jakékoli další ochranné prvky. Celá výkonová část systému je zapouzdřena do konstrukční průmyslové krabice U-01-26 s krytím IP65, které zajišťuje ochranu proti tryskající vodě a prachotěsnost. Veškerá kabeláž je vyvedena přes průchodku PG7, aby se zajistila stálost krytí. Celé umístění části zdroje je vyobrazeno na obrázku 19.



Obrázek 19: Vnitřní uspořádání zdroje

4.2.6 Výkonová část zavlažování

Akční členy, které jsou spínány výše zmíněným zdrojem, jsou reprezentovány selenoidovými elektroventily ZE-4F180 pracujících při +12V. Ventily jsou normálně zavřené, takže je ošetřen výpadek elektrické energie, který by v opačném případě měl za následek vyplavení skleníku. Ventily mají regulaci průtoku podle tlaku protékající kapaliny a to od 1,5l/h při tlaku 20kPa až do maximálního průtoku 20l/h při tlaku 800kPa. Nádrž použitá v této práci má vodní sloupec vysoký jeden metr a byla zvednuta o jeden metr pomocí plošiny, vyobrazené na obrázku 20, tudíž je výška vodního sloupce dva metry. Pomocí vzorce 1 pro výpočet hydrostatického tlaku byl vypočítán tlak při dvou metrech 20kPa, což odpovídá minimální hranici tlaku ventilem.

$$\begin{aligned}p &= h \cdot g \cdot \rho \\p &= 2 \cdot 9,806 \cdot 1000 \\p &= 19612Pa\end{aligned}\tag{1}$$



Obrázek 20: Nádrž na vodu s konstrukcí

Pokud klesne procento vlhkosti v záhonu pod žádanou úroveň, ventil příslušící danému záhonu sepne a pustí vodu do kapkových hadic Gardena se systémem micro drip, který umožňuje průtok 1,6l/h na kapkovač, což je ideální při průtoku ventilu 1,5l/h. Celé vedení vody je sestaveno z vodařských trubek, kdy od nádrže na vodu je vedena termohadice až do skleníku, kde je připojena přes manuální ventil na trojici ventilů. Ty jsou pak rozvedeny širokou trubkou do stran na jednotlivé zóny, které jsou protaženy po celé své délce trojicí kapkových hadic, což lze vidět na fotografii 21.



Obrázek 21: Rozvod vody se selenoidovými ventily

4.2.7 Výkonová část oken

Pro zvedání oken se nabízelo několik pohonů. Vybrán byl stejnosměrný motor PAL s výkonem 80W, jelikož je konstruován jako motor ovládání oken v automobilech, které jsou vystavovány podobným podmínkám, dále motor dosahuje vysokých otáček s dostatečně velkým výkonem. Zdvih okna je zkonstruován přes závitovou tyč, která je volně přišroubovaná k oknu. Motor s převodovou skříní je umístěn na hraně okna a na dveřním pantu tak, aby měl pohyb v jedné ose volný. Motor je umístěn v převodové skříní s hnacím kolem čítajícím 20 zubů a hnáným kolem s 33 zuby v jehož středu je umístěna matka M10, která posouvá závitovou tyč. Převodový poměr je 0,606. Dojezdy motoru jsou řešeny koncovými spínači, které vypínají motory. Výhoda zdvihu přes závitovou tyč se ukazuje při zastavení motoru v poloze otevřeno, kdy závitová tyč nedovolí oknu sklouznout dolů, tím je také zabráněno spadnutí okna při výpadku elektrické energie a zároveň zmenšuje energetickou náročnost skleníku. Důležité je zde myslet na bezpečnost, jelikož uživatel může i přes hluk motoru přehlédnout zavírající se okno a může dojít k poškození zdraví. Převodová skříň s motorem je proto uchycena tak, aby v případě překážky mezi oknem a rámem skleníku se motor nezastavil, ale začal se zvedat po závitové tyči a vyjel ze závěsu na pantu. Uživatel má také možnost nouzového vypnutí, které je provedeno díky lanu nataženému po celé délce skleníku, kdy jeden konec je uchycen pevně a druhý je uchycen na potahový nouzový spínač, který odpojí motory od zdroje elektrického napájení.

4.2.8 Ovládací část s mikroprocesorem

Tato ovládací část je oddělena od výkonové části z důvodu rušení, protože napěťový ATX zdroj rozděljuje napětí do několika hladin pomocí PWM o vysokých frekvencích. Oddělení je řešeno rozmístěním ovládací a zdrojové krabice od sebe. Dotykový displej s mikroprocesorem a hodi-

nami reálného času DS3231 jsou umístěny v krabici KP45F s krytím IP65. Vlhkost ovzduší ve skleníku neumožňuje použití kapacitního displeje, protože by mohlo docházet k falešným stiskům, z tohoto důvodu je použit odporový displej. Pod ním se nachází modul LCD MEGA Touch shield v 2.2, který je oproti předchozí verzi 2.0 stabilnější a rychlejší. Modul je nasazen do prototypové desky zvané Screw shield, která řeší problém s dostupností pinů na mikroprocesoru při nasazeném displeji. Spodní vrstvu tvoří mikroprocesor s čipem ATMEGA2560. Výhoda skládání jednotlivých modulů na sebe je jejich snadná výměna. Do krabice samotné jsou vedeny čtyři kabelové svazky a to dvojlinka s napájením ze zdroje a tři kabely UTP 5e, z nichž jeden je veden do zdroje na brány MOSFET a zbylé dva kabely jsou vedeny z propojovací krabice pro propojení senzorů s mikroprocesorem. Vyvedeno je taktéž tlačítko B 1384 pro reset mikroprocesoru. Finální ovládací panel lze vidět na obrázku 22.



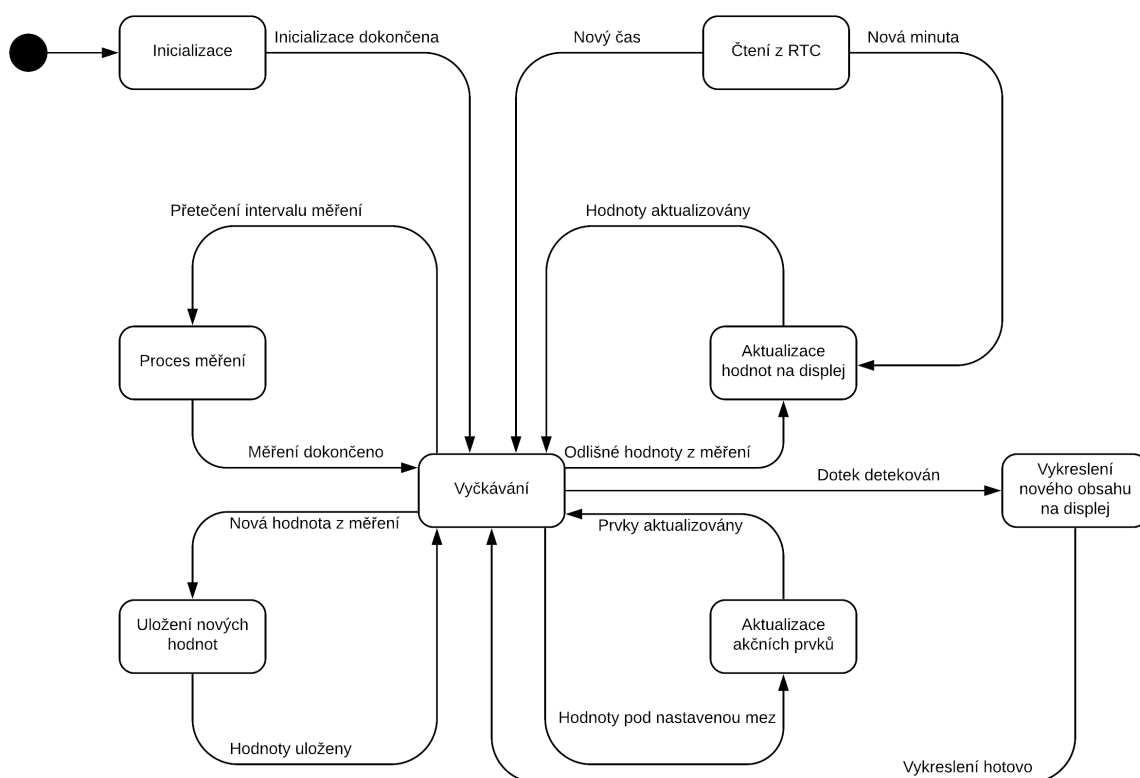
Obrázek 22: Pohled na ovládací panel s displejem

4.3 Návrh SW části

Tato kapitola se zabývá SW návrhem a následnou realizací, kdy je postupně popisován každý proces, který se v programu vykoná. Stavový diagram programu je vyobrazen na obrázku 23.

4.3.1 Inicializace

Po zapnutí napájení proběhne v mikroprocesoru inicializace, ve které se vloží veškeré knihovny, nadefinují se konstanty, které slouží pro definování pinů. Dále je třeba inicializovat displej spolu s dotykovou vrstvou a vložit pole tří fontů, které jsou použity pro výpis. Následuje vytvoření všech globálních proměnných, které slouží zejména pro ukládání naměřených hodnot pro mikroprocesor. V první funkci setup() se postupně nastaví komunikace I²C pro SD kartu a hodiny reálného času, OneWire pro teplotní senzory D18B20 a kombinovaný senzor DHT22. Jelikož je



Obrázek 23: Stavový diagram programu automatizace skleníku

chod programu závislý na časové známce, která zpracovává hodnoty vrácené hodinami reálného času, provede se první převedení na sekundovou časovou známku. Dále se provede vyčištění obrazovky displeje a nastaví se preciznost dotyku na střední úroveň. Na závěr jsou nastaveny vstupní a vstupní piny mikroprocesoru a provede se vykreslení domácí obrazovky s nulovými hodnotami.

4.3.2 Vyčkávání a čtení z RTC

Celý program je ovládán hodinami reálného času, které vrací hodnotu přepočítanou do časové známky, a kontroluje se, zdali uplynul interval měření, který je nastaven při inicializaci. Jakmile interval uplyne, spustí se proces měření. Během celého procesu vyčkávání se také kontroluje dotyková vrstva.

4.3.3 Proces měření

Prvním krokem je načtení dat ze senzorů, kdy jsou postupně jednotlivé senzory přes vytvořené funkce volány a vracejí hodnotu, která je aktuálně naměřená. Nejdéle trvá komunikace se senzory D18B20 „Dallas“, které vyžadují užití funkce `delay()`, která zapříčiní vyčkávání mikroprocesoru, během kterého se nemůže provádět žádný jiný požadavek. Toto vyčkávání může podle

dokumentace trvat od 93,75ms do 750ms, což závisí na žádaném rozlišení. Následují úpravy dat ze senzorů, mezi které patří například průměrování hodnot z kombinovaných vnitřních senzorů DHT22, nebo v případě půdního vlhkoměru převod z napětí na procenta. Dokončení procesu měření mikroprocesor pozná změnou proměnné, která značí, že jsou načteny všechny nové hodnoty.

4.3.4 Uložení nových hodnot

Poté, co se zkontroluje dotyková vrstva, proběhne kontrola zdali bylo měření ukončeno a jsou v paměti nové hodnoty čekající na uložení na externí paměťové médium, které v tomto případě reprezentuje SD karta o velikosti 4Gb. Každý typ senzoru má svůj soubor, do kterého se z něj ukládají data, ty se však ještě před uložením přetypují na string a spojí do jednoho celku tak, aby mezi každou hodnotou byl středník a na konci uložení znak odřádkování. Datový typ string byl zvolen proto, aby byl čitelný pro člověka. Bylo navrženo i ukládání v binární podobě čitelné pouze strojově, což může být v budoucnu použitelné například na vykreslování grafů přímo na displeji ovládacího panelu. Po dokončení ukládání se opět zkontroluje dotyková vrstva. Použití SD karty bylo podrobně popsáno v [2].

4.3.5 Aktualizace akčních prvků

Při inicializaci byly nastavené základní limity pro zavlažování a otevírání oken, které mohou být uživatelem změněny, nebo může být jejich funkce úplně zakázána. Při aktualizaci akčních prvků jsou tyto nastavené limity kontrolovány. U podmínky pro zavlažování není programově ošetřena hystereze, jelikož půda samotná má velkou časovou konstantu. Nastavovaný limit pro vlhkost půdy je pouze limit, který slouží pro vypnutí zavlažování. Po jeho vypnutí se vlhkost půdy může zvýšit až o deset procent. U regulace teploty ovzduší však hystereze musela být programově zavedena, jelikož teplota nemá tak velkou setrvačnost a tím pádem by se teplota ve skleníku mohla změnit dříve než by došlo k úplnému otevření oken. Pokud je tedy aktuální teplota menší o pět stupňů než žádaná teplota nastavená uživatelem, začnou se okna zavírat. Po dokončení bloku aktualizace se provede kontrola dotykové vrstvy.

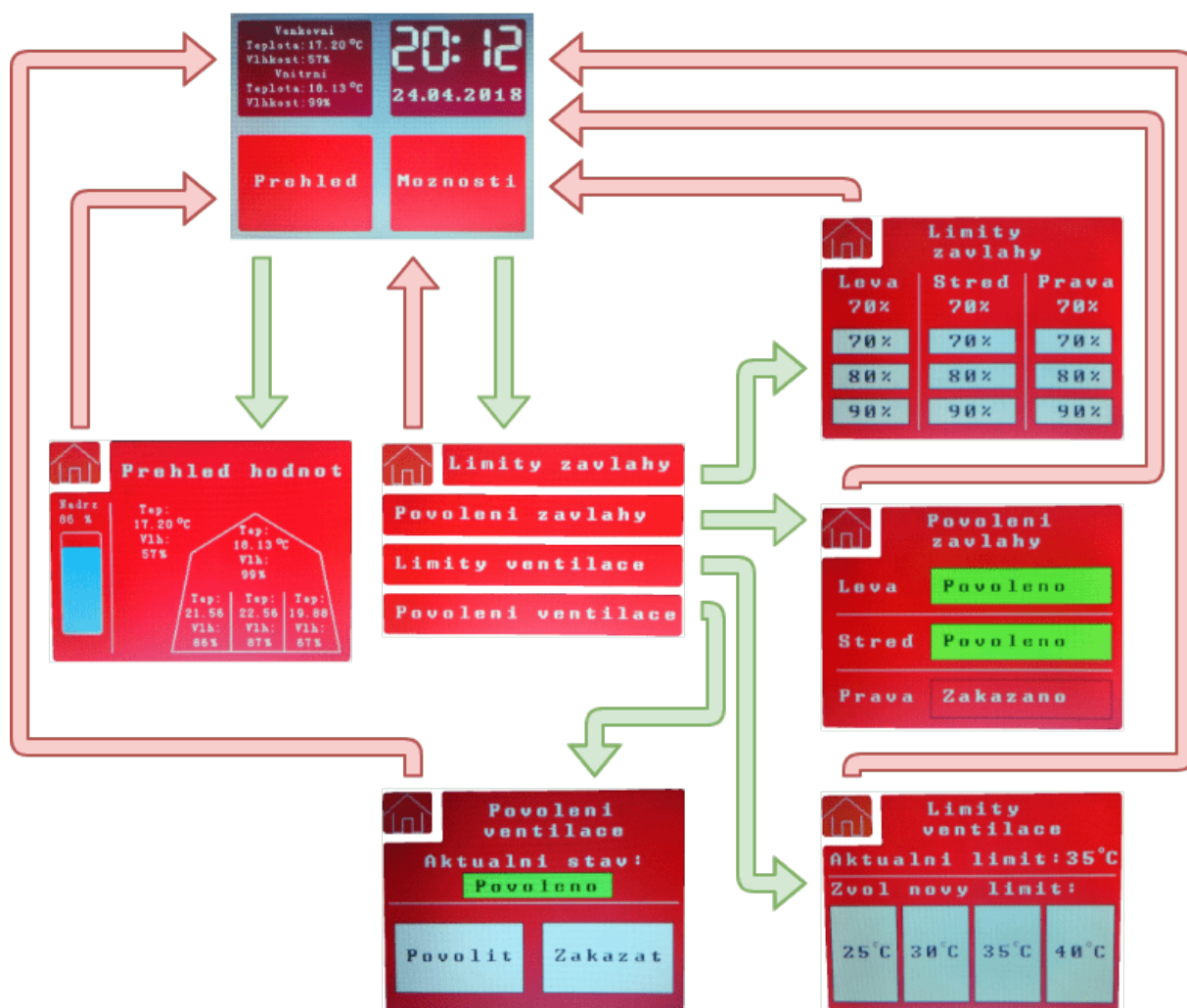
4.3.6 Aktualizace hodnot a vykreslení nového obsahu na display

Veškeré naměřené hodnoty jsou vykresleny uživateli na display. Provádí se aktualizace pouze hodnot, nikoliv vykreslení celé plochy displeje, aby se zamezilo probliknutí displeje, které doprovází každé nové vykreslení. Dále je v programu zavedena podmínka pro aktualizaci hodnot pouze na stránce, na které se aktuálně uživatel nachází. Po bloku aktualizace hodnot mikroprocesor vyčkává, než uplyne interval pro spuštění měření. Kdykoliv mezi procesy nebo během procesu vyčkávání je dotykovou vrstvou zaznamenán dotyk, proběhne kontrola stránky, na které se uživatel nachází, a zdali se na souřadnicích dotyku nachází prvek vyžadující nové vykreslení. Pokud jsou veškeré podmínky splněny, vyčistí se obrazovka a v případě, že se uživatel nenachází

na domovské stránce, je před obsahem stránky vykresleno tlačítko pro návrat na domovskou stránku.

4.3.7 HMI

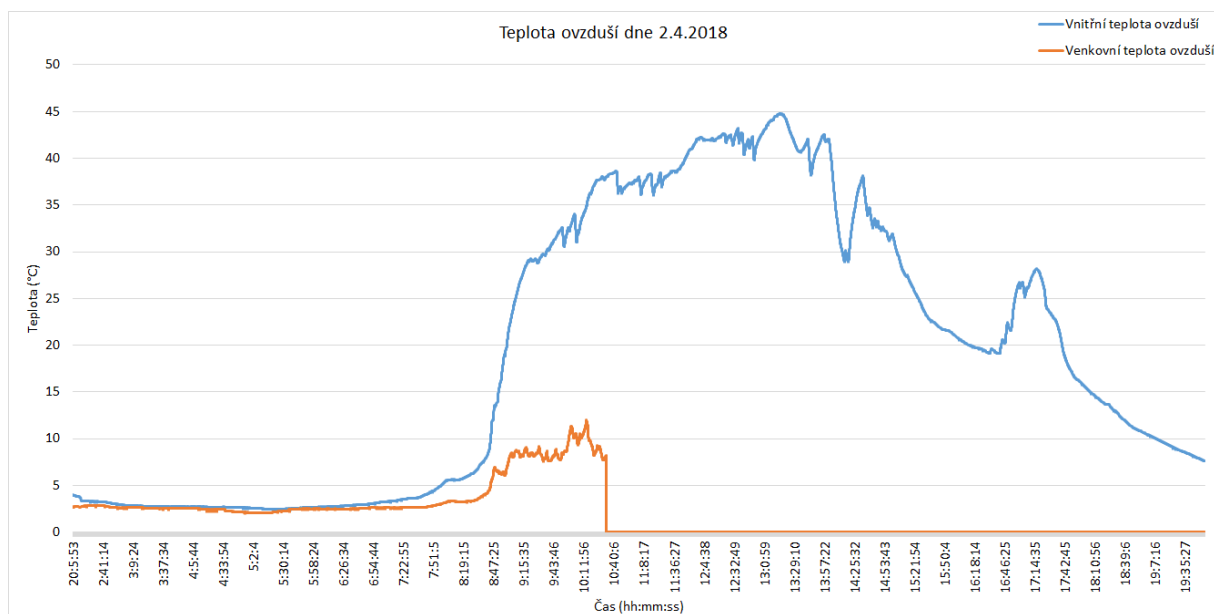
Úkolem rozhraní člověk stroj je podávat informace uživateli skleníku tak, aby pro něj byly přehledné a srozumitelné. Návrh probíhal na displeji velkém 3,2 palce a bylo třeba vše promyslet tak, aby uživatel měl jasný přehled o tom, co se ve skleníku děje, a aby měl veškerá nastavení přehledná a jednoduchá bez potřeby předchozího školení. Dalším požadavkem byla ovladatelnost displeje pouze prstem, nikoli dotykovým perem. První obrazovka, která se uživateli zobrazí při zapnutí, je domovská obrazovka, která je rozdělená do čtyř částí. Dva horní obdélníky jsou nedotykové, levý slouží pro rychlý přehled teploty vlhkosti ovzduší venku a vevnitř, pravý pak slouží k zobrazení aktuálního času a data. Spodní část tvoří dva dotykové obdélníky. Levý s nápisem „Přehled“ vykreslí obrazovku s kompletním přehledem všech veličin měřených ve skleníku, kdy náčrt skleníku je rozdělen do tří zón a v každé z nich je zobrazena aktuální teplota a vlhkost půdy. Ve středu skleníku a venku se pak nachází teplota a vlhkost ovzduší. Pokud prší, zobrazí se nad střechou skleníku nápis „Prsi!“ jako signalizace deště. V levé oddělené části je pak sloupcový graf, který se plní podle reálné výšky hladiny vody v nádrži, přičemž hodnota v procentech je vypisována nad grafem. Jediná cesta z jakékoli stránky, kromě domovské, je přes ikonu domečku v levém horním rohu. Na domovské obrazovce se dále nachází pravý spodní dotykový obdélník, který slouží pro výběr nastavení parametrů. Po vykreslení stránky „Možnosti“ má uživatel čtyři volby nastavení. První z nich jsou nastavení limitů závlahy, kdy pro každou zónu je možné nastavit jednu ze tří mezí. Aktuální mez se zobrazí pod názvem jednotlivých zón. Bílé obdélníky slouží k volení mezí. Při spuštění je nastavena hodnota sedmdesáti procent. Nastavení povolení závlah uživateli umožňuje zapínat nebo vypínat zóny závlahy, aniž by bylo vypnuto měření v zóně. Povolení je reprezentováno zeleným pozadím, pokud však zónu uživatel zakáže pozadí zčervená. Nastavení limitů ventilace umožňuje zvolit jeden ze čtyř limitů pro otevírání oken, kdy okno se začne zavírat, jakmile teplota klesne o pět stupňů pod zvolenou mez. Hodnota „aktuální limit“ se s volbou zón mění tak, aby měl uživatel přehled o právě nastavené hodnotě. Při zapnutí je nastaven limit třiceti pěti stupňů Celsia. Povolení ventilace umožňuje zakázat nebo povolit otevření nebo zavření oken, přičemž aktuální stav zobrazuje barevně i textem, co je aktuálně zvoleno. Vše bylo otestováno na uživateli, který netušil, jak skleník funguje a bez problému dokázal popsat jednotlivé prvky a listovat mezi stránkami. Možnost listování je vyobrazena na obrázku 24.



Obrázek 24: Diagram uživatelského rozhraní znázorňující možnosti listování stránek

5 Experimentální měření

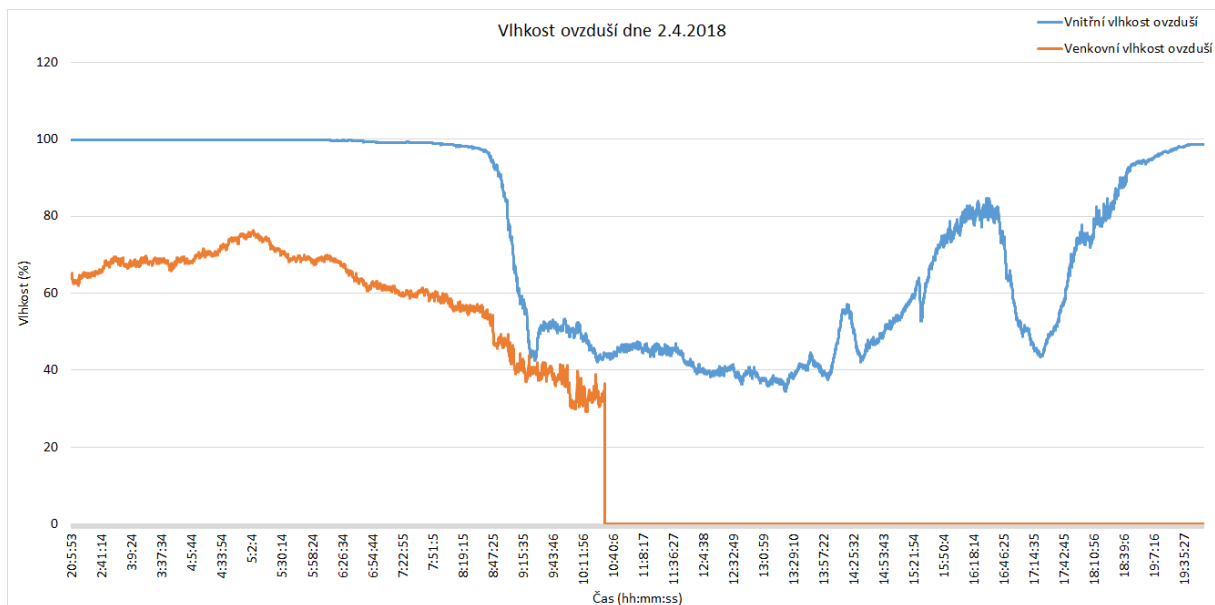
Z důvodu nestálého počasí a mrazů, které znemožňovaly montáž akčních prvků do skleníku, byla dokončena první fáze implementace dne 1.4.2018. Poté bylo soustředěno první měření, které obsahovalo měření vlhkosti a teploty půdy, vlhkosti a teploty ovzduší vevnitř i venku a informace o dešti. Měření trvalo okolo dvou hodin pro ověření funkčnosti zápisu. Po opravách nedostatků bylo ten samý den spuštěno nové měření, které trvalo necelý jeden den.



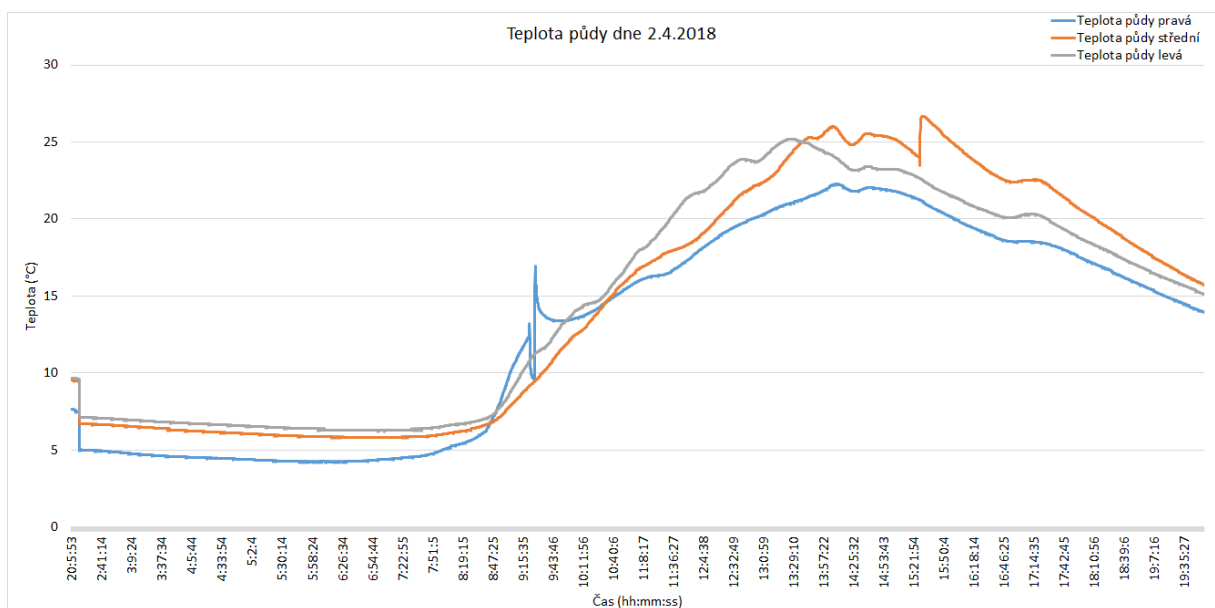
Obrázek 25: Teplota ovzduší naměřená 2.4.2018

Data z kombinovaných senzorů DHT22 zobrazují výpadek venkovního senzoru okolo 10:30, což bylo zapříčiněno vysráženou vlhkostí na pinech. Tento nedostatek byl odstraněn a při dalších měřeních se již neopakoval, avšak data pro toto měření jsou díky chybě nereálná v celé délce měření. Z grafu teploty ovzduší lze vyčíst rychlost nahrátí skleníku, což je zapříčiněno ostrým sluncem, které jej vyhřívalo od 7:00. Teplotní maximum je dosaženo v 13:14, kdy teplota dosáhla 44,8°C. Dne 2.4.2018 byl naměřen graf teploty ovzduší, který je na obrázku 25 a graf vlhkosti ovzduší je pak na obrázku 26.

Měření vlastností půdy proběhlo bez problémů a data korespondovala s realitou. Vegetační období teprve začínalo a pěstovalo se pouze v pravé zóně skleníku. V 9:21 bylo provedeno přemístění senzoru pro pravou zónu, což je znázorněno prudkým poklesem vlhkosti, následovalo manuální zalití zóny a v 9:27 už byla vlhkost na 100%. Zde si lze povšimnout jak moc byla půda zalita, jelikož v 19:54, kdy bylo měření ukončeno, byla vlhkost půdy 99%. Další odchylka je zaznamenána v 15:17 minut, kdy byla provedena prezentace práce zájemci a byl vytažen senzor pro střední zónu. Na grafu teploty půdy lze vypořizovat zákmit dat ze senzorů také. Jelikož během měření nepršelo, graf z dešťového senzoru je s nulovými daty. Závěrem měření byla nutná oprava venkovního senzoru teploty. Ta proběhla druhý den a 3.4.2018 v 23:13 bylo spuštěno



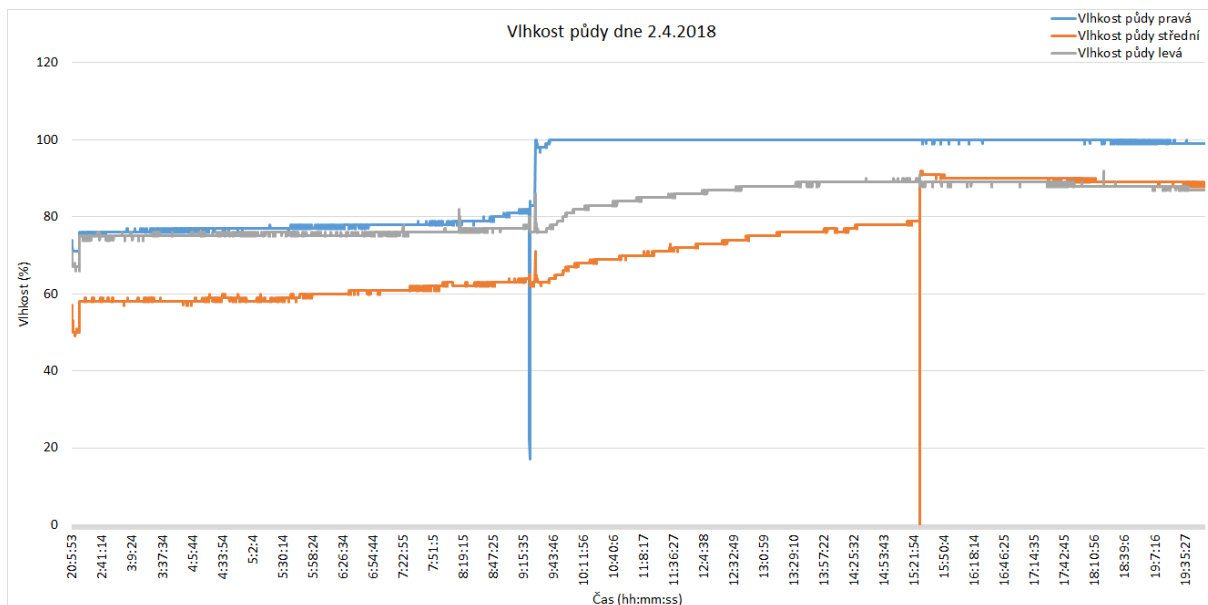
Obrázek 26: Vlhkost ovzduší naměřená 2.4.2018



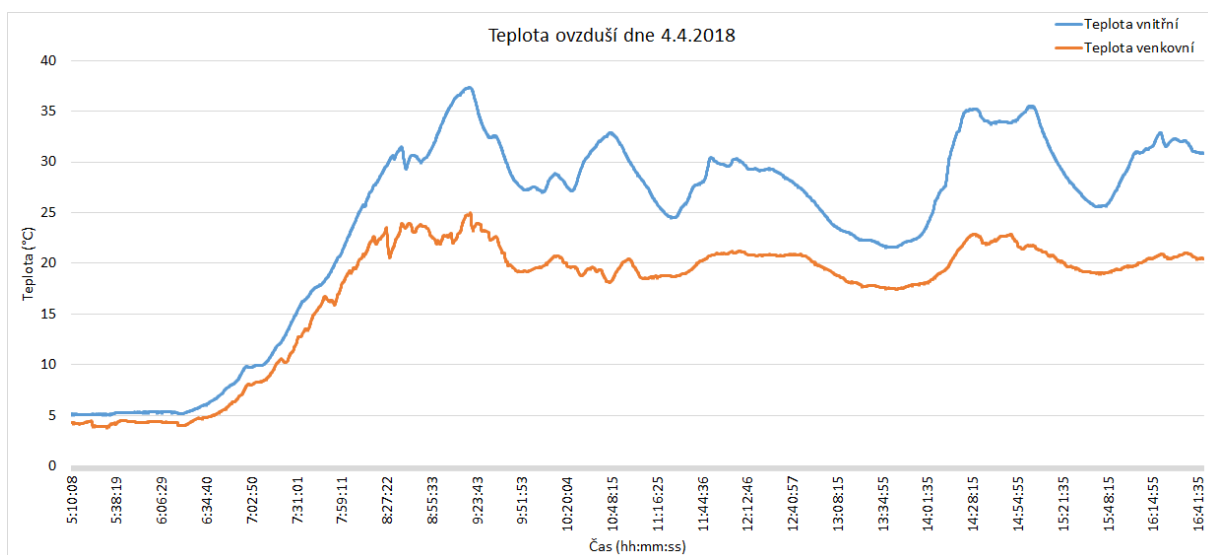
Obrázek 27: Teplota půdy ve skleníku naměřená 2.4.2018

další měření. Dne 2.4.2018 byl naměřen graf teploty půdy, který je na obrázku 27 a graf vlhkosti půdy je na obrázku 28.

Z grafů pak lze vypořizovat, že chyba kombinovaného senzoru DHT22 byla odstraněna a data jsou již použitelná. Vnitřní teplota dosáhla svého maxima 37,37°C v 9:18 hodin, což koreponduje s maximem venkovní teploty, která v 9:19 hodin dosáhla teploty 25°C. Závěrem měření je špatné nastavení hodin reálného času, protože měření bylo spuštěno už 3.4.2018 v 23:13, ale mikroprocesor začal data ukládat až 4.4.2018 v 5:10. Měření bylo zastaveno v 18:36, ale mikropro-

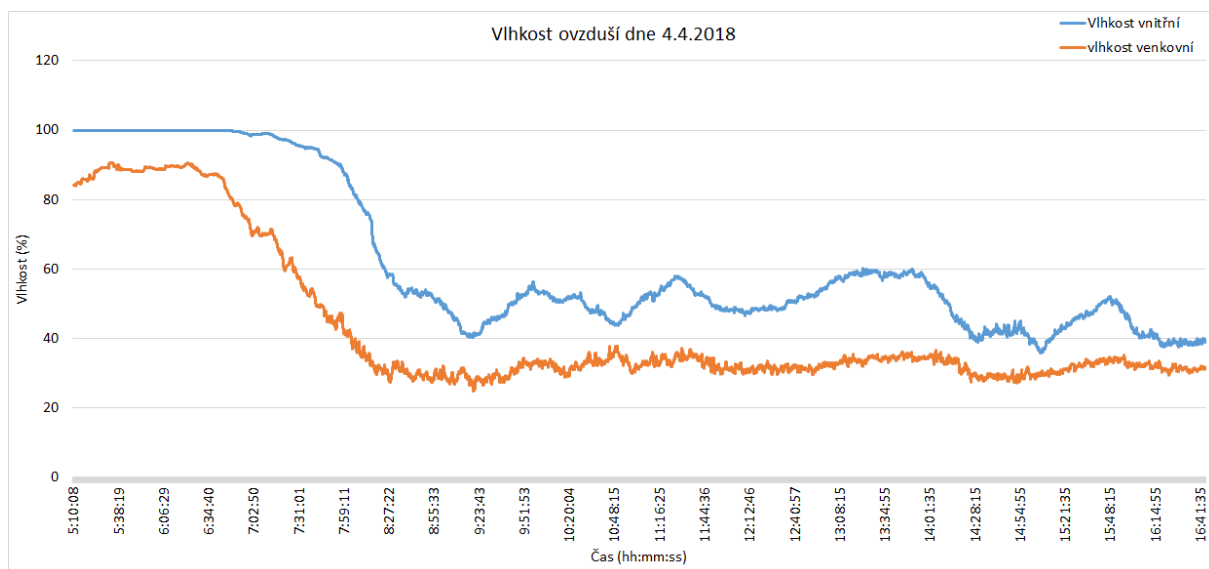


Obrázek 28: Vlhkost půdy ve skleníku naměřená 2.4.2018



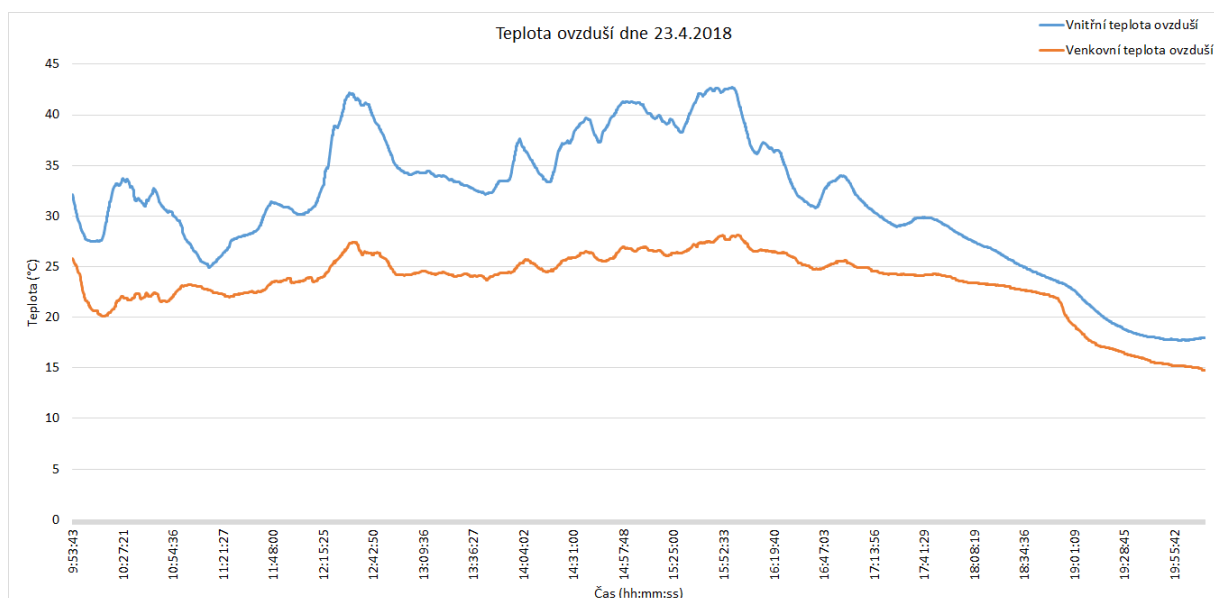
Obrázek 29: Teplota ovzduší naměřená 4.4.2018

cesor přestal ukládat v 16:44. Toto však jakkoli neovlivnilo naměřená data. Podle dat převzatých z Českého hydrometeorologického ústavu byla dne 4.4.2018 v Moravskoslezském kraji okolo 7:00 naměřena teplota 12°C. Dále byly mezi daty zapsány prázdné řádky, což bylo následně opraveno. Poslední nedokonalostí byla špatně čtená data z ultrazvukového senzoru vzdálenosti kvůli špatnému výpočtu v programu, který byl následně upraven. Dne 4.4.2018 byl naměřen graf teploty ovzduší, který je na obrázku 29 a graf vlhkosti ovzduší je pak na obrázku 30. Naměřených dat od data prvního spuštění byla spousta, jelikož každý den bylo nasbíráno okolo dvou tisíc hodnot, které se zpracovávaly a vyhodnocovaly. Měření, která probíhala mezi daty 4.4.2018 a 15.4.2018

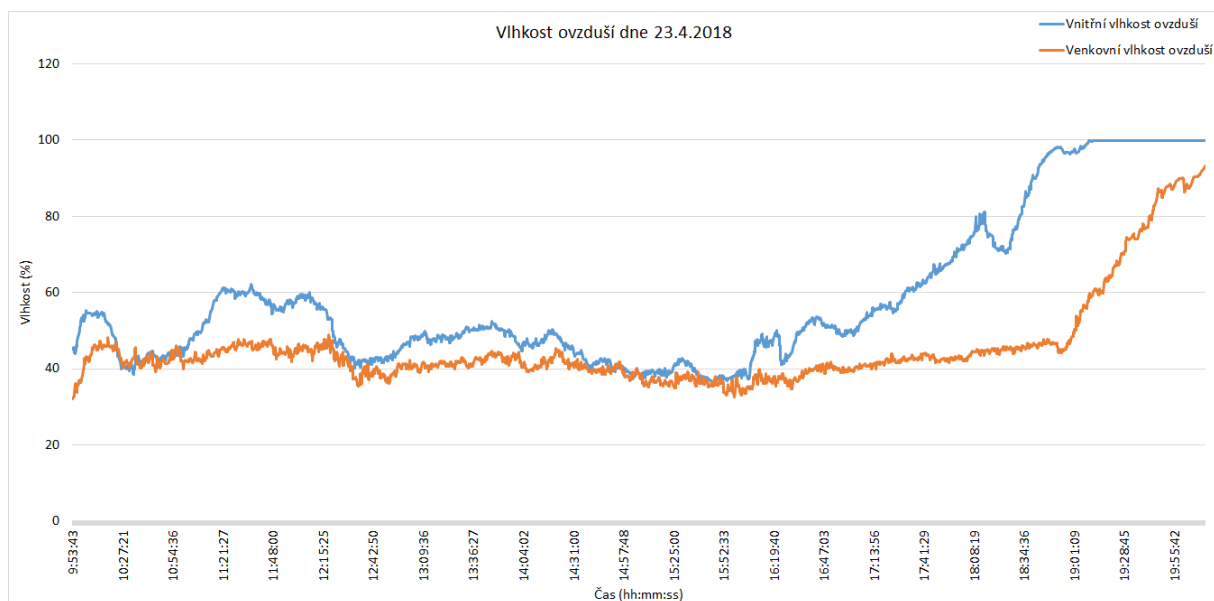


Obrázek 30: Vlhkost ovzduší naměřená 4.4.2018

byla zpracována, ale data byla nepoužitelná a prováděla se kalibrace senzorů a ladění programů. Největší problém dělalo správné časování intervalu měření. Prvotně bylo měřeno pomocí přerušení časovačem s nastaveným limitem na deset sekund, avšak mikroprocesor prováděl přerušování každých šest nebo sedm sekund, což bylo nežádoucí, proto se interval ve výsledku kontroluje přes časovou známku, která je tvořena pomocí hodin reálného času. Více o přerušování a jejich použití je psáno v [1]. Mezi dny 15.4.2018 a 21.4.2018 byly montovány akční prvky a otestován jejich provoz. Měření za plného provozu zavlažování bylo provedeno dne 23.4.2018, kdy všechny senzory fungovaly bez problémů.



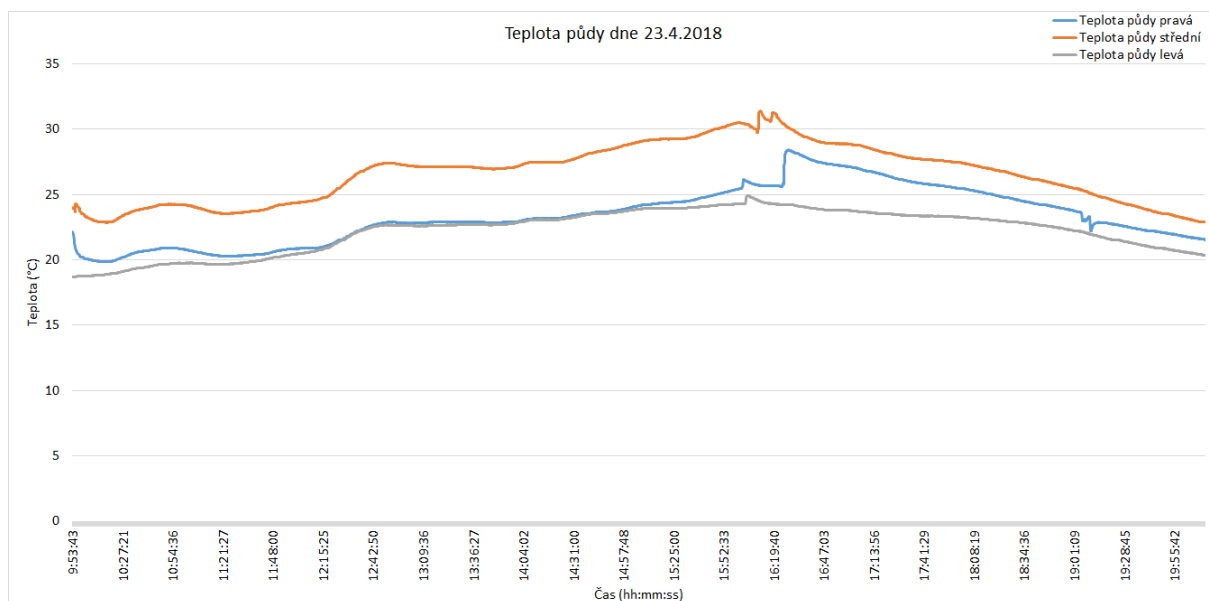
Obrázek 31: Teplota ovzduší naměřená 23.4.2018



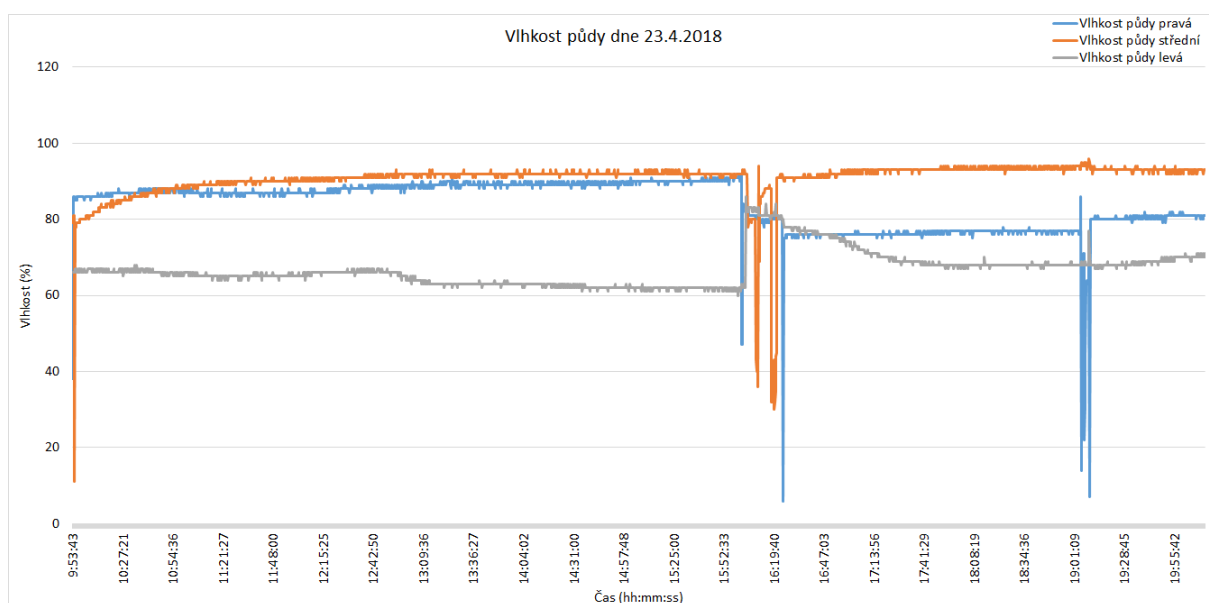
Obrázek 32: Vlhkost ovzduší naměřená 23.4.2018

Měření trvalo necelých dvanáct hodin a proběhlo bez větších problémů. Maximální vnitřní teplota za celý den byla $42,70^{\circ}\text{C}$ a to v čase 15:56. Maximální venkovní teplota byla $28,10^{\circ}\text{C}$ v 15:52. Podle Českého hydrometeorologického ústavu dosahovala nejvyšší teplota v Moravskoslezském kraji až 26°C , kdy v Orlové byla naměřena maximální teplota 25°C . Rozdíl může být způsoben umístěním senzoru. Podle dat vnitřní vlhkosti a teploty lze poznat, kdy bylo ve skleníku větráno, ovšem regulace pomocí oken ještě nebyla úplně doladěna. Dne 23.4.2018 byl naměřen graf teploty ovzduší, který je na obrázku 31 a graf vlhkosti ovzduší je pak na obrázku 32.

Z grafu pro vlastnosti půdy je znát rozdíl mezi daty naměřenými při prvním měření, kdy bylo zaléváno ručně, a mezi aktuálním grafem, kde byla nastavená žádaná vlhkost pro střední a pravou zónu 80%. Pravá zóna byla vypnutá z důvodu pěstování rostlin, které musí být hustěji rozmístěny, proto nemohou být rovnoměrně zavlažovány kapkovací hadicí. Střední zóna při zapnutí systému měla vlhkost 79%, tudíž bylo spuštěno zavlažování a po patnácti minutách se vlhkost zvýšila na 81%, svého maxima 96% dosáhla v čase 19:09. Průměrná hodnota však dosahuje 90% což by odpovídalo předpokladu o setrvačnosti půdy a navýšení limitu o 10% vlhkosti. Veškeré prudké výkyvy, které jsou v grafech půdních vlastností znatelné, jsou způsobeny změnou pozice senzorů. Při měření vlhkosti půdy je právě umístění senzoru od kapkovací hadice poměrně důležité. Určuje totiž okruh zavlažení a sílu zavlažení ve vzdálenosti od hadice. Je třeba brát v potaz, že v místě kapkování je vlhkost 100%, čemuž je potřeba přizpůsobit i sadbu rostlin. Špatného umístění senzoru si můžeme povšimnout v pravé zóně, kdy byl senzor umístěn moc blízko kapkovací hadici a vlhkost tím pádem nedosáhla své spodní meze, aby se rostlinám dostalo přísunu čerstvé vody. Senzor byl přesunut do správné pozice v 16:24, kdy pak je zřetelné spuštění zavlažování a pomalého růstu vlhkosti nad 80%. Hodnoty z levé zóny lze brát v potaz jako porovnání mezi



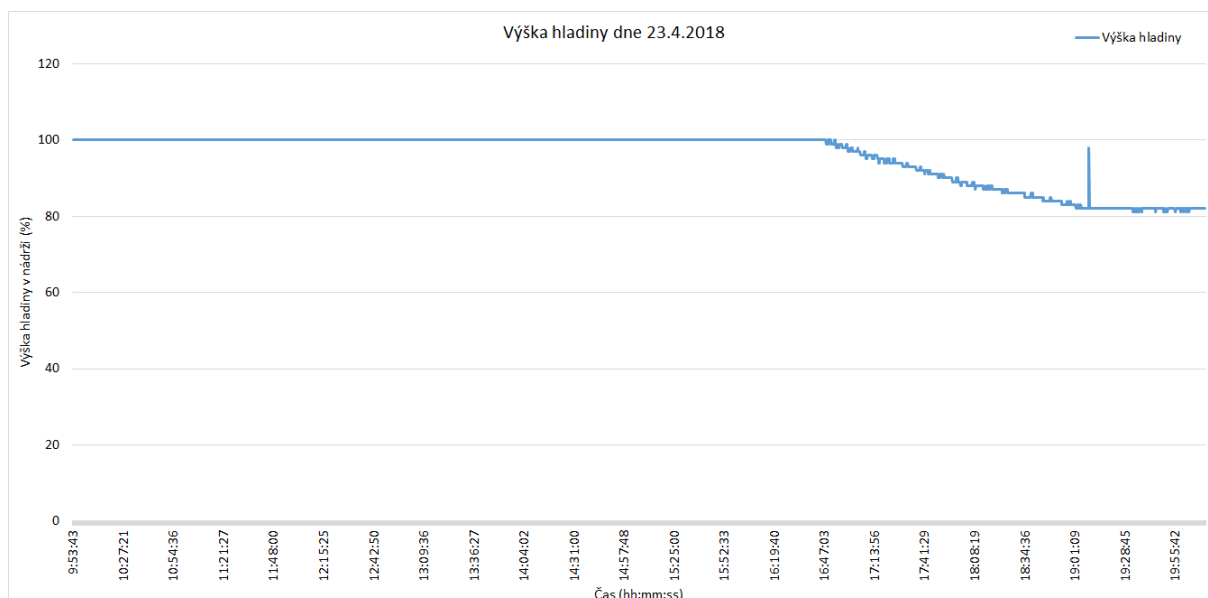
Obrázek 33: Teplota půdy ve skleníku naměřená 23.4.2018



Obrázek 34: Vlhkost půdy ve skleníku naměřená 23.4.2018

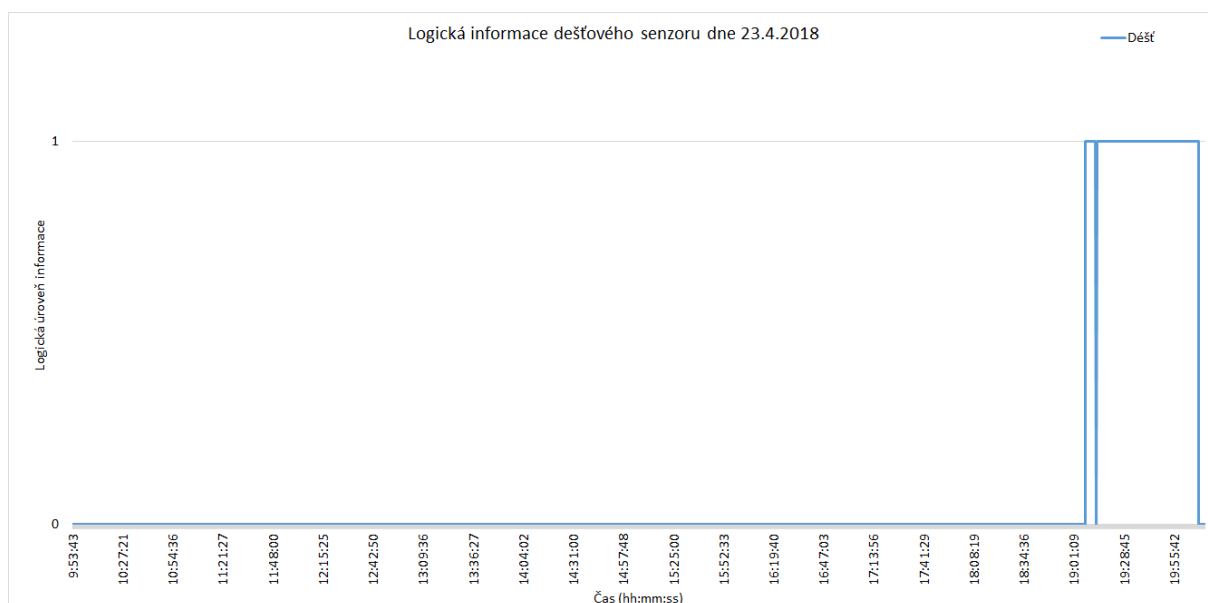
zavlažováním manuálním a automatickým, kdy lze vyčíst, že půda v levé zóně nedostála takové vláhý, jaké by správně měla oproti ostatním zónám. Dne 23.4.2018 byl naměřen graf teploty půdy, který je na obrázku 33 a graf vlhkosti půdy je na obrázku 34.

Před spuštěním měření byla naplněna nádrž na vodu, aby vyniklo ubývání hladiny korepondující s vlhkostí půdy. Ovšem senzor má nastavenou podmínku, kdy maximum je vnímáno kdykoli při menší vzdálenosti než deset centimetrů. Tím je eliminována vlastnost senzoru, kdy při malých vzdálenostech vrací hodnoty, které odpovídají hodnotám, kdy senzor neodpovídá.



Obrázek 35: Výška hladiny v nádrži naměřená 23.4.2018

Tento limit byl přesáhnut napuštěním nádrže pod mez deseti centimetrů a pokles hladiny se projevil až při spuštění zavlažování pravé zóny. Podle hladiny lze odpozorovat, kdy bylo zavlažování zastaveno. Podle senzoru vzdálenosti bylo zavlažování zastaveno v 19:04 a podle vlhkoměru pravé zóny byl limit 80% přesáhnut ve stejném čase. Dne 23.4.2018 byl naměřen graf výšky hladiny vody v nádrži, který je na obrázku 35.



Obrázek 36: Déšť zaznamenán 23.4.2018

Data z dešťového senzoru jsou v logických úrovních, kdy logická 1 značí, že prší. Zde si lze

povšimnout začátku deště v 19:07 a jeho konce v 20:08. Podle předpovědi počasí měl v tu dobu spadnout 1 milimetr srážek. Závěr měření ze dne 23.4.2018 je velice pozitivní, jelikož naměřené hodnoty odpovídají skutečnosti a korespondují spolu. Jedinou nedokonalostí je regulace ventilace okny, která nebyla úplně doladěna tak, aby mohla být použita v plném rozsahu. Další měření v průběhu týdne neprobíhalo, protože se pracovalo na úpravě kabeláže, umístování a úprava krytu zdroje a ovládacího panelu. Dne 23.4.2018 byl naměřen graf o informaci z dešťového senzoru, který je na obrázku 36.

6 Závěr

Realizace skleníku si vyžádala spousty času potřebného na důkladný návrh před samotnou realizací, kdy byl navrhnut kompletně celý HW, a byla hotová představa o funkčnosti. Ovšem reálně některé prvky fungují jinak, než bylo předpokládáno, což mělo za důsledek operativní změny HW i SW tak, aby aktuální aplikace fungovala. Celá práce byla rozdělena do několika následujících kroků.

První z částí byl teoretický návrh, který se zabýval průzkumem trhu. Nejvíce informací však nebylo získáno pomocí internetu, ale díky exkurzi, která proběhla v listopadu minulého roku do žampionárny Funghi, nedaleko Bílovce, kde byly nabrány zkušenosti z praxe a reálného prostředí pěstování. Firma Funghi velice ochotně předvedla své technologie a způsoby pěstování Žampionů a Hlívy ústříčné, kde pooužívá spousty moderních technologií, kterých byla snaha využít i v této práci.

Druhou částí bylo testování senzorů nejprve jednotlivě, kdy většina z nich fungovala podle očekávání. Problém nastal při kompletování celé senzorické části, kdy byl vytvořen prototyp skleníku na 20×10cm veliké polykarbonátové desce, aby bylo možné na bakalářské práci pracovat i mimo reálný skleník. Zjištěny byly nedostatky některých senzorů, jako například ultrazvukový senzor, který je ve styku s vlhkým okolím, jelikož nebyl doručen ve vodotěsné úpravě.

Třetí částí bylo kompletování SW pro skleník včetně HMI. Zde se vyskytly potíže s HW přerušáním displeje, které mělo být použito pro detekci dotyku. Problém byl v napěťových hladinách displeje, kdy přerušování mělo pracovat na 5V logické úrovni, ovšem naměřené hodnoty vůbec nekorespondovaly s technickým listem produktu. Vyzkoušeny byly i jiné displeje stejného typu, byl sestaven obvod pro snížení logické úrovně na 3,3V, byl vytvořen obvod pro zesílení napěťového výstupu pinu přerušování, ale nic se nejevilo jako správný postup. Nakonec bylo od přerušování upuštěno a vymyslela se jiná alternativa, která ve výsledku pracuje naprosto v pořádku.

Čtvrtá část se zabývala návrhem HW a jeho kompletací. Návrh prvků byl několikrát konzultován s uživateli skleníku, kteří si návrh přizpůsobili tak, aby vyhovoval jejich potřebám. Například senzory vlhkosti jsou konstruovány tak, aby je nebylo možné ve skleníku přehlédnout a nedopatřením porušit jejich vedení. Jsou vymyšleny pro co nejsnazší přemístění, pro případ kdyby se sadba omezila pouze na půlku jedné ze tří zón. Kapkovací hadice k zavlažování jsou uspořádány tak, aby v každé zóně vznikly tři řádky pro sadbu, avšak tento typ hadice má jeden základní nedostatek. Kapkovače jsou rozmístěny 30 cm od sebe, což omezuje pěstování pouze na větší rostliny, které nemohou být sázeny na husto. Pokud bychom chtěli zavlažovat rostliny, které se sází na husto, jako například Bazalka nebo Ředkvička, existují hadice tkané, které propouštějí vodu po celém svém obvodu, což by muselo být řešeno rozdělením tří zón podle rostlin v nich pěstovaných. V práci toto využito není, jelikož rostliny ve skleníku jsou často obměňovány a změna hadic při každé přesadbě by nevyhovovala hlavní myšlence o usnadnění práce uživateli.

Pátá část se zabývala postupným spuštěním všech prvků a odzkoušením celého systému. Tato část byla časově náročná, jelikož z důvodu počasí nebylo možné měřit dříve než na začátku

měsíce dubna a každé z měření trvalo zhruba jeden den. Po celém dni bylo třeba data zpracovat a vyhodnotit. Ve většině případů byla data nepoužitelná z důvodů špatného zápisu na SD kartu, vyplavení ultrazvukového senzoru déštěm a mnoho dalších nepředpokládaných skutečností. Zde bylo třeba vytrvat a senzory postupně zkalibrovat a poupravovat HW rozvržení krytů senzorů. Prvním zkoušeným akčním prvkem bylo zavlažování, které pracovalo na 80%, jelikož byly špatně nastaveny parametry pro spouštění zavlažování v jedné ze zón. Chyba byla opravena a zavlažování již pracuje správně. Aplikace pro odvětrávání je svým návrhem o dost složitější, jelikož jsou použity motory s poměrně velkým proudem, kterému nevyhovoval vybraný zdroj, tudíž musel být vyměněn. Další chyba nastala při zkoušce H můstku ovládaného mikroprocesorem, kdy H můstek nevydržel nápor motoru, i když byl značně naddimenzovaný, nepokryl všechny napěťové špičky. Odvětrávání je k datu odevzdání práce pouze ve fázi testování a ladění, čemuž odpovídají i data, ve kterých nelze regulaci vidět, protože pro finální měření dne 23.4. byly okna vyřazena z provozu, jelikož jeden z tranzistorů H můstku shořel. Aktuální snahou je problém s ovládáním motoru odstranit, a pokud budou pokusy o zprovoznění úspěšné, budou výsledky prezentovány při prezentaci bakalářské práce.

Z pohledu dalšího vývoje bude skleník dále odlaďován a podrobován testům, kdy je ze strany uživatelů zájem o další rozvoj. V budoucnosti má být vybudovaná vedle skleníku retenční nádobna na dešťovou vodu, která bude sbírána ze střechy domu a skleníku, tudíž bude potřeba sledovat výšku hladiny v nádrži a zavést ovládání čerpadla na doplnění současné nádrže, která by sloužila pouze jako akumulační nádobna, kde se voda předejde slunečním zářením. Další možnost budoucího rozvoje skleníku je doplnění systému o dávkování hnojiva do akumulační nádoby. Dalším požadavkem je postupem času uvést skleník do ostrovního režimu. Nejaktuálnější je však ukládání dat přes WebServer do databáze a možnost vzdáleného ovládání skleníku.

Celý návrh a poté i samotná realizace skleníku byla velkou výzvou, která si vyžádala spousty pokusů a metod, jak při měření, tak při HW návrhu. Samotná práce byla nejdříve vymyšlena tak, jak by teoreticky mohla vypadat a fungovat. Celá práce od svého začátku až po dokončení je rozdělena do čtyřčástí které budou v následujících odstavcích zhodnoceny.

Literatura

- [1] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR*. 3.díl. Praha: Ben - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-209-4.
- [2] VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Praha: Ben - technická literatura, 2017. ISBN 978-80-87106-90-7.
- [3] VÍTEČKOVÁ, Miluše a Antonín VÍTEČEK. *Vybrané metody seřizování regulátorů*. Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2503-8.
- [4] OMEGA. *Analog I/O Functionality*. Citováno dne 28.4.2018. Dostupné z: <https://www.omega.com/literature/transactions/volume2/analogio.html>
- [5] OMEGA. *Digital I/O Functionality*. Citováno dne 28.4.2018. Dostupné z: <https://www.omega.com/literature/transactions/volume2/digitalio.html>
- [6] Anaheim Automation. *HMI Guide*. Citováno dne 28.4.2018. Dostupné z: <http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/hmi-guide.php#sthash.JsXuUlfS.dpbs>
- [7] PLCAcademy. *Ladder Logic Tutorial*. Citováno dne 28.4.2018. Dostupné z: <http://www.plcademy.com/ladder-logic-tutorial/>
- [8] GREISINGER electronic. *Basics of precision temperature measuring with Pt100-Probes*. Citováno dne 28.4.2018. Dostupné z: <https://goo.gl/594xpr>
- [9] KREIDL, Marcel. *Měření teploty - senzory a měřicí obvody*. 1.vydání. Praha: Ben - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-145-4.
- [10] HYDREON CORPORATION *How it Works - RG11*.; Citováno dne 28.4.2018. Dostupné z: <http://rainsensors.com/how-it-works/>
- [11] HAIGHT Joel M. , Ph.D., P.E., CIH, CSP *Automation vs Human Intervention. What is the Best Fit for the Best Performance*.; Citováno dne 28.4.2018. Dostupné z: http://www.asse.org/practicespecialties/management/automation_human_intervention/
- [12] John W. Bartok, Jr. *Reducing Humidity in the Greenhouse*. Citováno dne 28.4.2018. Dostupné z: <https://ag.umass.edu/greenhouse-floriculture/fact-sheets/reducing-humidity-in-greenhouse>
- [13] TORRES, Gabriel. *Anatomy of Switching Power Supplies*. Citováno dne 28.4.2018. Dostupné z: <http://www.hardwaresecrets.com/anatomy-of-switching-power-supplies/8/>

A Seznam příloh na přiloženém CD

- 3D_tisk
 - Dešťový_senzor
 - * Dešťový_celý.SLDASM
 - * Dešťový_poklop.SLDPRT
 - * Dešťový_sens.SLDPRT
 - DHT22
 - * DHT.SLDPRT
 - * DHT_kryt.SLDPRT
 - * DHT_sestava.SLDASM
 - Kryt_převodovky
 - * Motor_cely.SLDASM
 - * Motor_hlavni.SLDPRT
 - * Motor_kryt.SLDPRT
 - Převodovka
 - * Freecad_kolečka.FCStd
 - * Hnací.SLDPRT
 - * Hnané.SLDPRT
 - * Poklop_na_hnané.SLDPRT
 - * Převodovka.SLDASM
 - US_senzor
 - * US_cely.SLDASM
 - * US_poklop.SLDPRT
 - * US_senzor.SLDPRT

- Datalog
 - Data_2.4.2018.xlsx
 - Data_4.4.2018.xlsx
 - Data_23.4.2018.xlsx
- Programové vybavení
 - Knihovny
 - Main_2.9.ino
- Text_práce
 - Celý L^AT_EX
- Vytvořený_HW
 - Motor_oken_převodovka.jpg
 - Půdní_senzor_hroty.jpg
 - Řídící_část_vnitřek.jpg
 - US_DHT22_dešťový.jpg